

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Програмно-технічний засіб збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ

Виконав здобувач III курс, гр. KI2c-23-1



Володимир
КОНОПАЦЬКИЙ

Ініціали, прізвище

Керівник

Науковий ступінь, учене звання

Підпис

Підпис

Андрій НІЧЕПОРУК

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Науковий ступінь, учене звання

Підпис

Підпис

Сергій ЛИСЕНКО

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС

«01» червня 2026 р.

дата

Ольга ПАВЛОВА

Ініціали, прізвище

Хмельницький 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КПС



Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Конопацькому Володимирі Андрійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Програмно-технічний засіб збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням
Керівник проекту (роботи) Нічепорук Андрій Олександрович, к.т.н., доцент.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Програмно-технічний засіб збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних

Програмно-апаратна реалізація засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Архітектура ПЗ проекту

Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи

Апаратне забезпечення проекту

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

« 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проєктування засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – проєктування системи збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач

Підпис

Володимр КОНОПАЦЬКИЙ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

Підпис

Андрій НІЧЕПОРУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Програмно-технічний засіб збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням».

Автор роботи: Володимир КОНОПАЦЬКИЙ.

Керівник роботи: Адрій НІЧЕПОРУК.

Пояснювальна записка: 58 с., 8 рис., 1 табл., 3 дод., 53 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АВТОНОМНЕ ЖИВЛЕННЯ, АТМОСФЕРНИЙ ТИСК, БАЗА ДАНИХ, ВЕБІНТЕРФЕЙС, ВОЛОГІСТЬ, МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ТЕМПЕРАТУРА.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролерної платформи ESP32. Актуальність теми зумовлена потребою у компактних, автономних та енергоефективних системах моніторингу навколишнього середовища, які здатні працювати у віддалених місцях без постійного підключення до стаціонарної електромережі.

Метою роботи є проектування, реалізація та перевірка працездатності програмно-технічного засобу для вимірювання метеорологічних параметрів, бездротового передавання даних на сервер і їх подальшого відображення у вебінтерфейсі. Для досягнення поставленої мети проаналізовано сучасні підходи до побудови систем метеорологічного моніторингу, обрано апаратні компоненти, сформовано архітектуру вимірювального вузла.



Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1.1 Особливості метеорологічного моніторингу та значення вимірювання температури, вологості й атмосферного тиску	6
1.2 Аналіз сучасних систем збору та передавання метеорологічних даних	9
1.3 Мікроконтролерні платформи та бездротові технології у системах віддаленого моніторингу	12
1.4 Принципи автономного енергоживлення вимірювальних систем на основі сонячних панелей	15
1.5 Постановка задачі створення програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних	17
1.6 Висновки до першого розділу	19
2 Проєктування програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних	21
2.1 Архітектура системи метеорологічного моніторингу	21
2.2 Вибір апаратних компонентів системи	24
2.3 Організація роботи мікроконтролерної платформи ESP32	29
2.4 Організація передавання та зберігання метеорологічних даних	32
2.5 Організація автономного живлення системи	35
2.6 Висновок до другого розділу	38
3 Розгортання та перевірка роботи програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу	39
3.1 Формування вимірювального вузла на базі ESP32 та сенсорних модулів	39
3.2 Налаштування циклу роботи ESP32: вимірювання, передавання та перехід у режим очікування	44
3.3 Підготовка серверного середовища для приймання та збереження метеорологічних даних	50

КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ			
Зм. Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата
Виконав	КОНОПАЦЬКИЙ		
Перевір.	Андрій НІЧЕПОРУК		
Н.контр.	Сергій ЛИСЕНКО		
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА		04.06
Програмно-технічний засіб збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням. Пояснювальна записка			
		Літера	Аркуші
		у	2
		Аркушів	
		58	
ХНУ КІ2с-23-1			

3.4 Створення панелі візуалізації температури, вологості та атмосферного тиску	55
3.5 Висновки до третього розділу	58
Висновки.....	60
Перелік джерел посилань	62
Додаток А Копія креслення «Архітектура ПЗ проєкту».....	68
Додаток Б Копія креслення «Архітектура ПЗ для інтелектуальної системи»	69
Додаток В Копія креслення «Апаратне забезпечення проєкту»	70

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасні системи моніторингу навколишнього середовища дедалі частіше будуються на основі компактних програмно-технічних засобів, які здатні автоматично збирати, передавати, зберігати та відображати вимірювальні дані. Особливого значення такі системи набувають у випадках, коли потрібно отримувати інформацію про стан повітряного середовища у віддалених місцях, на відкритих територіях, у сільськогосподарських зонах, на об'єктах інфраструктури або в умовах, де постійне ручне зчитування показників є незручним. У таких ситуаціях важливими стають не лише точність вимірювання, а й автономність, енергоефективність, стабільність передавання даних та можливість зручного перегляду результатів.

Використання ESP32 є доцільним завдяки поєднанню достатньої обчислювальної продуктивності, наявності вбудованого Wi-Fi-модуля, підтримки цифрових інтерфейсів для підключення датчиків та можливості переходу в енергоощадні режими. Це дозволяє сформувати компактний вимірювальний вузол, який зчитує температуру, вологість і атмосферний тиск, виконує первинну обробку даних, формує інформаційний пакет і передає його на сервер.

Метою кваліфікаційної роботи є проєктування та реалізація програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням.

Для досягнення поставленої мети виконано такі завдання: проаналізовано особливості метеорологічного моніторингу та значення вимірювання температури, вологості й атмосферного тиску; розглянуто сучасні системи збору та передавання метеорологічних даних; визначено доцільність використання мікроконтролерної платформи ESP32 у системах віддаленого моніторингу; розглянуто принципи автономного енергоживлення вимірювальних вузлів на

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основі сонячних панелей; сформовано архітектуру програмно-технічного засобу; обрано апаратні компоненти системи; описано організацію роботи ESP32, передавання та збереження даних; реалізовано вимірювальний вузол, серверне середовище та панель візуалізації метеорологічних показників.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є процес автоматизованого збору, передавання, збереження та відображення метеорологічних даних у системах віддаленого моніторингу.

Предметом кваліфікаційної роботи є програмно-технічний засіб метеорологічного моніторингу на базі ESP32, сенсорних модулів температури, вологості й атмосферного тиску, бездротового зв'язку, серверного середовища та автономного сонячного живлення.

Практичне значення роботи полягає у створенні основи для компактної автономної системи метеорологічного моніторингу, яка може використовуватися для регулярного отримання даних про стан повітряного середовища. Запропонована система поєднує вимірювальний вузол на базі ESP32, сенсори DHT22 і BMP280, автономне живлення від сонячної панелі та акумулятора, передавання даних на сервер і подальше відображення результатів у вебінтерфейсі.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилань та додатків. У першому розділі розглянуто предметну область, сучасні підходи до метеорологічного моніторингу, мікроконтролерні платформи, бездротові технології та автономне живлення. У другому розділі сформовано архітектуру системи, обґрунтовано вибір апаратних компонентів, описано організацію роботи ESP32, передавання даних і автономного енергоживлення. У третьому розділі подано практичне формування вимірювального вузла, налаштування циклу роботи ESP32, підготовку серверного середовища та створення панелі візуалізації температури, вологості, атмосферного тиску й напруги акумулятора.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ МЕТЕОМОНІТОРИНГУ

1.1 Особливості метеорологічного моніторингу та значення вимірювання температури, вологості й атмосферного тиску

Кваліфікаційна робота присвячена створенню програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу, тому доцільно розпочати з розкриття самої суті цього поняття та ролі основних параметрів, що використовуються для опису стану навколишнього середовища [24, 25]. Метеорологічний моніторинг у сучасному розумінні сформувався як безперервний процес спостереження за фізичними характеристиками атмосфери з метою отримання об'єктивної, актуальної та придатної до подальшої обробки інформації [24]. Такий підхід уже застосовується не лише у великих державних або наукових системах спостереження, але й у прикладних сферах, пов'язаних із сільським господарством, енергетикою, будівництвом, екологічним контролем, а також у побутових і промислових автоматизованих системах керування [37–39].

Сучасний метеорологічний моніторинг дедалі частіше спирається на розподілені вимірювальні вузли, які працюють автономно, розміщуються безпосередньо в точках спостереження та передають дані на віддалені сервери для збереження і подальшої обробки [37, 40, 41]. Така концепція дозволяє отримувати більш детальну картину змін навколишнього середовища в часі та просторі, зменшує залежність від централізованих станцій і робить систему спостереження гнучкішою та масштабованою [38, 39]. У межах кваліфікаційної роботи саме цей підхід розглядається як основа побудови сучасної системи збору та візуалізації метеорологічних даних [26, 27].

Серед великої кількості можливих параметрів стану атмосфери особливе місце займають температура повітря, відносна вологість та атмосферний тиск [24, 25]. Ці величини традиційно вважаються базовими, оскільки вони

безпосередньо характеризують фізичний стан повітряного середовища і водночас суттєво впливають на більшість природних та техногенних процесів [24]. Температура визначає тепловий режим середовища, впливає на перебіг хімічних і фізичних процесів, комфортність перебування людини, роботу технічних систем і збереження матеріалів [10, 11, 15]. У практичних умовах саме за зміною температури часто оцінюється загальний характер погодних умов та їхній вплив на об'єкти інфраструктури [37, 39].

Вологість повітря доповнює температурну картину та дозволяє більш повно описати стан атмосфери [15, 16]. Вона визначає вміст водяної пари в повітрі та безпосередньо пов'язана з такими явищами, як утворення конденсату, туману, опадів, а також із процесами корозії, псування матеріалів і зміни мікроклімату в приміщеннях [24, 38]. У багатьох прикладних задачах саме поєднання даних про температуру та вологість дає змогу оцінити реальні умови експлуатації обладнання, зберігання продукції або перебування людей [37, 39]. Через це контроль вологості разом із температурою вже став стандартною практикою для автоматизованих систем моніторингу середовища [40, 41].

Атмосферний тиск, своєю чергою, є важливим індикатором загального стану повітряних мас і їхньої динаміки [24, 25]. Його зміни пов'язані з переміщенням циклонів і антициклонів, що безпосередньо впливає на формування погодних умов [24]. У прикладному сенсі інформація про тиск дозволяє не лише доповнити метеорологічну картину, але й використовується для непрямої оцінки висоти над рівнем моря, аналізу погодних тенденцій та прогнозування короткострокових змін середовища [10–12]. У межах автоматизованих систем моніторингу цей параметр органічно поєднується з температурою та вологістю, формуючи базовий набір даних для подальшої обробки та візуалізації [37, 38].

Особливістю сучасного метеорологічного моніторингу є перехід від епізодичних вимірювань до безперервного збору даних із фіксацією їх у часі [26, 27]. Це дозволяє не лише спостерігати поточний стан середовища, а й

накопичувати історію змін, аналізувати тенденції та виявляти нетипові відхилення [38, 39, 42]. Такий підхід суттєво підвищує цінність отриманої інформації, оскільки окреме значення параметра часто має обмежену інформативність без урахування попередніх вимірювань і загальної динаміки [37, 40].

Ще однією важливою рисою сучасних систем є вимога до автономності та енергоефективності [34]. Вимірювальні вузли дедалі частіше розміщуються у важкодоступних або віддалених місцях, де підключення до стаціонарних джерел живлення є неможливим або економічно недоцільним [37]. У таких умовах використання сонячних панелей у поєднанні з акумуляторним накопиченням енергії дозволяє забезпечити тривалу та стабільну роботу системи без постійного втручання людини [19]. Це, своєю чергою, висуває додаткові вимоги до апаратної та програмної частини, зокрема щодо оптимізації енергоспоживання та раціональної організації режимів роботи [3, 7, 34].

У межах кваліфікаційної роботи метеорологічний моніторинг розглядається не як абстрактна задача спостереження, а як практична інженерна проблема створення програмно-технічного засобу, здатного надійно збирати, передавати та відображати дані про температуру, вологість і атмосферний тиск [37–39, 41]. Саме ці параметри формують основу для побудови універсальної, гнучкої та масштабованої системи, яка може застосовуватися в різних умовах і для різних прикладних потреб [26, 27, 40]. Поєднання безперервного вимірювання, автономного живлення та віддаленої візуалізації інформації дозволяє перейти від простого фіксування показників до повноцінного інструменту моніторингу стану навколишнього середовища, що відповідає сучасним вимогам до подібних систем [38, 39].

1.2 Аналіз сучасних систем збору та передавання метеорологічних даних

У межах аналізу сучасних систем збору та передавання метеорологічних даних доцільно розглянути готові рішення, які вже широко застосовуються на практиці. Ринок таких систем умовно поділяється на побутові персональні метеостанції, напівпрофесійні рішення для ентузіастів і невеликих організацій, а також професійні сенсорні комплекси, що використовуються в інфраструктурних або промислових задачах. Відмінності між цими сегментами проявляються у точності, надійності, вартості, можливостях інтеграції та підходах до передавання і візуалізації даних.

У побутовому сегменті помітне місце займають “розумні” метеостанції, орієнтовані на користувача, який хоче отримувати показники на телефоні та бачити графіки у фірмовому застосунку. Характерний приклад - Netatmo Smart Home Weather Station зображений на рисунку 1.1, у якій вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску подається через мобільну екосистему, а доступ до даних також реалізовано через API, що дозволяє стороннім сервісам отримувати значення сенсорів і статус пристроїв (зокрема, рівень батареї модулів або стан Wi-Fi) і будувати власні інтеграції.



Рисунок 1.1 - Netatmo Smart Home Weather Station [50]

Сильна сторона такого підходу полягає в простоті запуску й зрозумілій візуалізації “з коробки”, однак типовим обмеженням залишається прив’язка до хмарної платформи виробника та залежність від її правил доступу, облікових записів і змін у сервісній частині (наприклад, обмеження на виклики, авторизація тощо).

Інший поширений клас - персональні метеостанції з локальною базою датчиків та передаванням показників у веб-сервіси для побудови онлайн-панелей. У цій групі добре помітні рішення Ambient Weather WS-2902 зображений 1.2, де виробник прямо підкреслює можливість бездротового передавання даних до власної мережі/платформи (Ambient Weather Network) та формування інтерактивної панелі для перегляду показників і історії спостережень.



Рисунок 1.2 - Ambient Weather WS-2902 [51]

Подібні системи виглядають привабливо для швидкого розгортання: користувач отримує дисплей, набір вимірювань і готовий онлайн-дашборд без необхідності піднімати власний сервер. Водночас у прикладних проектах швидко проявляються типові обмеження: важко гнучко змінювати формат

даних, доповнювати власними правилами обробки, організовувати локальне кешування при збоях зв'язку або інтегруватися з інфраструктурою підприємства без використання “містків” і сторонніх сервісів. Частина виробників також робить акцент на власній платформі, що знову створює залежність від зовнішньої хмари як центральної ланки.

У сегменті напівпрофесійних рішень для ентузіастів, навчальних лабораторій або невеликих організацій часто зустрічаються станції Davis Vantage Pro2 у поєднанні з пристроями/сервісами сімейства WeatherLink. Тут уже відчутніший акцент на “польовій” надійності та швидшому оновленні даних, а також на розширенні можливостей через окремі компоненти для підключення до хмари та перегляду інформації через веб-інтерфейс.

Окремо виділяється професійний клас багатопараметричних датчиків і автоматичних метеостанцій, що застосовуються в інженерних, інфраструктурних і промислових умовах. Показовий приклад - Vaisala WXT536 зображений 1.3, який позиціонується як компактний передавач/датчик, що одночасно вимірює ключові метеопараметри, включно з температурою, вологістю та тиском (а також додаткові величини залежно від комплектації).



Рисунок 1.3 - Vaisala WXT536 [52]

Перевага професійних рішень полягає в стабільності метрологічних характеристик, довговічності та орієнтації на інтеграцію в промислові системи. Однак для задач навчальної лабораторії або для інженерного прототипу головним стримувальним фактором зазвичай стають висока вартість і надмірність функціоналу: там, де необхідно фіксувати базові параметри й передавати їх на сервер для відображення, доцільнішим виглядає підхід із мікроконтролером і доступними сенсорами, який забезпечує потрібний результат із меншими витратами та більшою гнучкістю архітектури.

У підсумку аналіз готових систем показує спільну закономірність: більшість комерційних рішень добре вирішує задачу “показати погоду” у межах власної платформи, але гірше підходить для сценаріїв, де потрібні автономність від електромережі, контроль енергоспоживання, незалежність від фірмових хмар і можливість побудувати власний сервер із довільною логікою збереження та візуалізації. Саме ці обмеження формують практичне підґрунтя для розроблення програмно-технічного засобу на базі ESP32 із автономним сонячним живленням, бездротовим передаванням на віддалений сервер і керованою візуалізацією даних у форматі, який повністю визначається архітектурою кваліфікаційної роботи.

1.3 Мікроконтролерні платформи та бездротові технології у системах віддаленого моніторингу

За останні роки підхід до побудови таких систем суттєво змінився: замість громіздких спеціалізованих контролерів усе частіше застосовуються компактні, енергоефективні та універсальні мікроконтролерні модулі, здатні одночасно виконувати функції збору даних, їх первинної обробки та передавання у мережу [2, 10, 11]. Мікроконтролерна платформа в контексті систем віддаленого моніторингу вже сприймається не лише як «керуючий елемент», а як повноцінний обчислювальний вузол, що об’єднує роботу сенсорів, інтерфейсів

зв'язку та логіку взаємодії із серверною частиною [3, 26]. Саме на цьому рівні формується структура даних, реалізуються механізми буферизації, перевірки коректності вимірювань і підготовки інформації до передавання [5, 27]. Такий підхід дозволяє значну частину обробки виконувати безпосередньо на периферійному вузлі, зменшуючи навантаження на сервер і підвищуючи стійкість системи до тимчасових збоїв зв'язку [37, 40].

У сучасних системах віддаленого моніторингу вже склалася тенденція до використання універсальних мікроконтролерних рішень, які поєднують у собі достатню обчислювальну потужність, розвинений набір периферійних інтерфейсів і підтримку різних способів підключення до мережі [1, 2, 10]. Такі платформи дозволяють будувати модульну архітектуру, у межах якої сенсорна частина, блок живлення та комунікаційний модуль утворюють єдиний вимірювальний вузол [37, 38]. У результаті система легко масштабується, а окремі компоненти можуть змінюватися без повного перероблення всієї конструкції [39, 41].

Особливе значення в системах віддаленого моніторингу має вибір технології зв'язку, оскільки саме вона визначає можливість передавання даних на відстань, частоту оновлення інформації та загальну надійність роботи [1, 5, 20]. Перехід від дротових інтерфейсів до бездротових рішень суттєво спростив розгортання вимірювальних вузлів, особливо в умовах, де прокладання кабелів є складним або економічно недоцільним [37, 42]. У сучасних проєктах широко застосовуються технології бездротового передавання, які дозволяють організувати зв'язок між вимірювальним модулем і серверною частиною без прив'язки до фізичної інфраструктури [20, 23].

Використання бездротових каналів зв'язку в поєднанні з мікроконтролерними платформами вже сформувало типову архітектуру системи віддаленого моніторингу [1, 3, 37]. На периферійному рівні вимірювальний вузол збирає дані з датчиків, формує пакети та надсилає їх у мережу [5, 10]. На серверному рівні ці дані приймаються, зберігаються та відображаються у

зручному для користувача вигляді [26, 33]. Така структура дозволяє розділити функції системи й спростити її супровід, оскільки зміни в інтерфейсі візуалізації або в логіці обробки не потребують втручання в апаратну частину вимірювального модуля [26, 27].

Разом із перевагами бездротового зв'язку проявляються й характерні технічні виклики. До них належить нестабільність каналу передавання, можливі затримки або тимчасова відсутність з'єднання, а також обмеження, пов'язані з енергоспоживанням [34, 35]. Саме тому в сучасних системах усе частіше реалізується підхід, за якого мікроконтролерна платформа не лише передає дані, але й забезпечує їх тимчасове локальне збереження з подальшою синхронізацією після відновлення зв'язку [26, 27, 40]. Це дозволяє зберігати цілісність інформації та не втрачати вимірювання навіть у складних умовах експлуатації [37, 42].

Важливим аспектом є також поєднання бездротових технологій із вимогами автономного енергоживлення [34]. У випадках, коли вимірювальні вузли працюють від сонячних панелей і акумуляторів, кожен елемент системи має бути оптимізований з погляду споживання енергії [17, 19]. Мікроконтролерні платформи в таких умовах уже виконують не лише обчислювальні функції, але й керують режимами сну, пробудженням периферії та графіком передавання даних [3, 7, 34]. Це дозволяє значно зменшити середнє енергоспоживання і забезпечити стабільну роботу системи протягом тривалого часу без втручання людини [37].

У межах цієї кваліфікаційної роботи мікроконтролерна платформа та бездротові технології розглядаються як ключові елементи архітектури програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу [1, 2, 37]. Уже сформовано підхід, за якого вимірювальний вузол виконує не лише роль джерела даних, а й виступає активним учасником процесу їх підготовки та передавання [5, 26, 40]. Поєднання сучасної мікроконтролерної платформи з бездротовим зв'язком створює основу для побудови гнучкої, автономної та масштабованої

системи, здатної працювати в реальних умовах експлуатації та забезпечувати надійний обмін інформацією з віддаленим сервером [37, 42]. Це дозволяє перейти від окремих вимірювальних пристроїв до цілісної інфраструктури моніторингу, у якій апаратна і програмна частини працюють як єдине узгоджене ціле [26, 27].

1.4 Принципи автономного енергоживлення вимірювальних систем на основі сонячних панелей

Сучасні системи віддаленого моніторингу все частіше розгортаються у місцях, де відсутня можливість підключення до стаціонарних джерел електроживлення або таке підключення є економічно недоцільним [37]. У таких умовах автономне енергоживлення стає не просто додатковою перевагою, а обов'язковою вимогою до вимірювального вузла [34]. Саме тому у багатьох прикладних проєктах усе ширше застосовується підхід, заснований на використанні сонячних панелей у поєднанні з акумуляторним накопиченням енергії, що дозволяє забезпечити тривалу та стабільну роботу системи без постійного втручання людини [19].

Принцип роботи автономної системи живлення на основі сонячної енергії полягає в перетворенні світлової енергії на електричну з подальшим її збереженням у накопичувачі та використанням для живлення електронних компонентів. Сонячна панель у такій схемі виконує роль первинного джерела енергії, тоді як акумулятор забезпечує роботу системи в періоди відсутності освітлення або за умов недостатньої інтенсивності сонячного випромінювання [17, 18]. Завдяки цьому вимірювальний вузол здатний функціонувати цілодобово та зберігати працездатність навіть за тривалих несприятливих погодних умов [37].

Особливістю автономних енергосистем для вимірювальних пристроїв є необхідність узгодження характеристик усіх компонентів між собою.

Потужність сонячної панелі має відповідати середньому споживанню системи з урахуванням сезонних і добових коливань освітленості, а ємність акумулятора повинна забезпечувати достатній запас енергії для роботи в автономному режимі протягом визначеного часу. У межах таких систем уже сформувався підхід, за якого енергетичний баланс розглядається як один із ключових параметрів проектування, що безпосередньо впливає на надійність і стабільність роботи всієї установки.

Важливу роль у подібних системах відіграє електроніка керування живленням, яка відповідає за коректне заряджання акумулятора, захист від перезаряду та глибокого розряду, а також за стабілізацію напруги для живлення мікроконтролерної платформи та сенсорів [17, 19]. Саме цей блок забезпечує узгоджену роботу джерела енергії, накопичувача та споживачів, запобігаючи пошкодженню компонентів і підвищуючи загальну довговічність системи [18, 19]. У практичних реалізаціях такий підхід дозволяє створити автономний вимірювальний вузол, здатний працювати місяцями без необхідності обслуговування [37].

Разом із апаратними аспектами автономного живлення важливого значення набуває і програмна складова [3, 7, 34]. Мікроконтролерна платформа в подібних системах уже не обмежується виконанням функцій збору та передавання даних, а також бере участь у керуванні енергоспоживанням [3, 7]. Реалізація режимів зниженого споживання, періодичного пробудження для виконання вимірювань і передавання інформації, а також адаптація частоти роботи до наявного енергетичного ресурсу дозволяє істотно зменшити середнє навантаження на акумулятор і підвищити автономність системи в цілому [34]. Такий підхід особливо важливий для довготривалих спостережень, де стабільність роботи має не менше значення, ніж точність вимірювань [37, 42].

Сонячне живлення також накладає певні обмеження на архітектуру вимірювального вузла, оскільки кожен додатковий споживач енергії безпосередньо впливає на загальний баланс системи. Це стимулює використання

енергоефективних компонентів, оптимізацію програмних алгоритмів і раціональне планування режимів роботи [3, 34]. У результаті формується комплексний підхід до проєктування, у межах якого апаратна та програмна частини розглядаються як єдина енергетично узгоджена система, а не як окремі незалежні модулі [21].

Принципи автономного енергоживлення на основі сонячних панелей розглядаються як необхідна складова програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу [37]. Поєднання сонячної панелі, акумуляторного накопичувача та системи керування живленням створює умови для тривалої безперервної роботи вимірювального вузла в автономному режимі. Це дозволяє реалізувати практично придатну систему, яка не залежить від стаціонарних джерел електроенергії та зберігає працездатність у реальних умовах експлуатації, що є однією з ключових вимог до сучасних систем віддаленого моніторингу [37].

1.5 Постановка задачі створення програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних

Після аналізу особливостей метеорологічного моніторингу, огляду сучасних систем збору та передавання даних, а також розгляду можливостей мікроконтролерних платформ і принципів автономного енергоживлення формується цілісне уявлення про вимоги до сучасного вимірювального вузла [24, 25, 37]. У межах кваліфікаційної роботи постає практична інженерна задача створення програмно-технічного засобу, здатного забезпечити повний цикл роботи з метеорологічною інформацією, починаючи від її вимірювання і завершуючи наочним поданням результатів користувачу у зручній формі [26, 33].

Поставлена задача полягає у розробленні системи, яка виконує безперервний або періодичний збір даних про температуру, відносну вологість

та атмосферний тиск за допомогою відповідних сенсорів, інтегрованих у єдиний вимірювальний модуль [10, 16]. Отримані значення мають оброблятися на рівні мікроконтролерної платформи, після чого передаватися бездротовими каналами зв'язку на віддалений сервер для подальшого збереження та аналізу [1, 3, 5, 26]. Такий підхід дозволяє відокремити процес вимірювання від процесу представлення інформації, зберігаючи водночас цілісність і узгодженість даних у межах всієї системи [26, 27].

Важливою складовою поставленої задачі є забезпечення автономної роботи вимірювального вузла [34]. Система має функціонувати від сонячних панелей з акумуляторним накопиченням енергії, що накладає додаткові вимоги до енергоефективності апаратної та програмної частин. Це означає, що архітектура програмно-технічного засобу повинна передбачати раціональне використання енергетичних ресурсів, застосування режимів зниженого споживання та оптимізований графік виконання вимірювань і передавання даних [3, 7, 34]. У результаті вимірювальний модуль має зберігати працездатність упродовж тривалого часу без необхідності зовнішнього обслуговування [37].

Окремий акцент у межах задачі робиться на надійності передавання інформації [1, 5, 40]. Система повинна враховувати можливі перебої зв'язку та забезпечувати збереження вимірних даних із подальшою передачею після відновлення з'єднання [26, 27, 40]. Це дозволяє уникнути втрати інформації та підвищує загальну стійкість роботи програмно-технічного засобу в реальних умовах експлуатації [37, 42]. Відповідно, логіка взаємодії між вимірювальним вузлом і серверною частиною має бути спроектована з урахуванням таких сценаріїв [1, 26].

Не менш важливою частиною поставленої задачі є організація серверного рівня та засобів візуалізації [26, 33]. Передані дані повинні зберігатися у структурованому вигляді та відображатися користувачу у формі графіків, таблиць або інших наочних представлень, що дозволяють швидко оцінити поточний стан середовища та простежити динаміку змін у часі [33, 38, 39]. Таким

чином, програмно-технічний засіб розглядається не лише як вимірювальний пристрій, а як повноцінна інформаційна система, що охоплює як апаратний, так і програмний рівні обробки даних [26, 27].

У межах кваліфікаційної роботи також передбачається реалізація цілісної архітектури системи, яка об'єднує сенсорний модуль, мікроконтролерну платформу, підсистему живлення, засоби бездротового зв'язку та серверну частину в єдиний узгоджений комплекс [1, 2, 3, 37]. Такий підхід дозволяє не лише продемонструвати працездатність окремих компонентів, але й показати їх взаємодію в реальному сценарії використання, що є важливою вимогою до інженерних розробок цього класу [38, 41].

Поставлена задача зводиться до створення програмно-технічного засобу, який забезпечує вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску, автономну роботу від сонячного джерела енергії, бездротове передавання даних на віддалений сервер і їх подальшу візуалізацію для користувача [10–16, 17–19, 26, 33]. Реалізація такої системи в межах кваліфікаційної роботи дозволяє перейти від теоретичного аналізу предметної області до практичного проектування та впровадження повноцінного інженерного рішення, орієнтованого на застосування в реальних умовах експлуатації.

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто предметну область створення програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу, а також визначено основні вимоги до системи збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних. Основну увагу приділено значенню базових параметрів атмосферного середовища, до яких належать температура повітря, відносна вологість та атмосферний тиск. Показано, що саме ці величини формують основу для оцінювання стану навколишнього середовища, оскільки вони відображають тепловий режим повітря, рівень насичення водяною паром та загальний стан

повітряних мас. Їх регулярне вимірювання дозволяє не лише отримувати поточні показники, а й накопичувати історію змін для подальшого аналізу.

У межах розгляду сучасних систем збору та передавання метеорологічних даних проаналізовано готові рішення, що застосовуються у побутових, напівпрофесійних і професійних задачах. Встановлено, що комерційні метеостанції забезпечують зручне відображення показників і мають готові засоби передавання даних, однак часто залежать від хмарних сервісів виробника, мають обмежені можливості зміни логіки роботи та не завжди підходять для побудови власної серверної інфраструктури.

Розглянуто роль мікроконтролерних платформ і бездротових технологій у системах віддаленого моніторингу. Визначено, що мікроконтролер у таких системах виконує не лише функцію керування сенсорами, а й забезпечує первинну обробку вимірювань, формування пакетів даних, взаємодію з мережею та підготовку інформації до передавання на сервер. Особливу увагу приділено платформі ESP32, яка поєднує достатню продуктивність, підтримку цифрових інтерфейсів, вбудований Wi-Fi-модуль та можливість роботи в енергоощадних режимах.

Окремо встановлено значення автономного енергоживлення для вимірювальних систем, які працюють у віддалених або важкодоступних місцях. Розглянуто принцип використання сонячної панелі, акумуляторного накопичувача, контролера заряду та стабілізатора напруги як єдиної енергетичної підсистеми. Показано, що автономне живлення безпосередньо впливає на архітектуру програмно-технічного засобу, оскільки потребує раціонального вибору компонентів, оптимізації режимів роботи мікроконтролера та зменшення середнього енергоспоживання. Завдяки цьому вимірювальний вузол може виконувати періодичні вимірювання, передавати дані на сервер і тривалий час зберігати працездатність без постійного підключення до електромережі.

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ ЗБОРУ, ПЕРЕДАВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

2.1 Архітектура системи метеорологічного моніторингу

У сучасних умовах спостереження за станом навколишнього середовища дедалі частіше здійснюється за допомогою автоматизованих систем, здатних безперервно отримувати, передавати та обробляти вимірювальні дані. Такий підхід дозволяє відмовитися від періодичних ручних вимірювань і перейти до постійного контролю параметрів атмосфери з можливістю їх подальшого аналізу та візуалізації. Саме тому під час розроблення програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних важливого значення набуває побудова чіткої та логічно організованої архітектури системи, у межах якої всі компоненти працюють узгоджено та виконують визначені функції.

Архітектура системи метеорологічного моніторингу формується як багаторівнева структура, що поєднує апаратні та програмні компоненти в єдиний комплекс. Основу системи становить вимірювальний вузол, який виконує функції збору метеорологічної інформації, її первинної обробки та подальшого передавання до віддаленої частини системи. Такий вузол включає сенсорний модуль, мікроконтролерну платформу, підсистему зв'язку та систему енергоживлення. Взаємодія цих компонентів забезпечує повний цикл роботи вимірювального модуля - від отримання даних із фізичного середовища до формування інформаційних повідомлень, придатних для передавання мережею.

Сенсорний модуль призначений для вимірювання основних параметрів атмосферного середовища, зокрема температури повітря, відносної вологості та атмосферного тиску. Саме ці величини формують базовий набір метеорологічних характеристик, які дозволяють оцінювати поточний стан повітряного середовища та відстежувати його зміни в часі. Датчики, що входять до складу сенсорного модуля, перетворюють фізичні параметри середовища на електричні сигнали, які надалі передаються до мікроконтролера для обробки. У

результаті система отримує цифрові значення вимірюваних параметрів, придатні для подальшого використання в інформаційній системі моніторингу.

Центральним елементом вимірювального вузла виступає мікроконтролерна платформа ESP32, яка забезпечує координацію роботи всіх компонентів системи. Саме на цьому рівні реалізується логіка взаємодії із сенсорами, формування структурованих пакетів даних та керування процесом передавання інформації до серверної частини системи. Мікроконтролер виконує функції локального обчислювального вузла, який здійснює первинну обробку вимірювань, перевірку їх коректності та підготовку даних до передачі через бездротову мережу. Наявність вбудованих модулів бездротового зв'язку дозволяє реалізувати пряме підключення вимірювального вузла до мережевої інфраструктури без використання додаткових комунікаційних пристроїв.

Для забезпечення передавання інформації в системі використовується бездротовий канал зв'язку, що дозволяє організувати обмін даними між вимірювальним модулем і серверною частиною системи. Отримані з датчиків значення параметрів середовища формуються у вигляді структурованих повідомлень, які передаються через мережу до віддаленого сервера. Такий підхід дозволяє розміщувати вимірювальні вузли на значній відстані від центру обробки даних та значно спрощує процес розгортання системи моніторингу. Відсутність необхідності прокладання кабельної інфраструктури робить систему більш гнучкою та придатною для використання у віддалених або важкодоступних місцях.

Серверна частина системи виконує функції приймання, збереження та подальшої обробки отриманої інформації. Дані, що надходять від вимірювального вузла, накопичуються у базі даних, де формуються часові ряди значень температури, вологості та атмосферного тиску. Наявність централізованого сховища інформації дозволяє зберігати історію змін метеорологічних параметрів і використовувати її для подальшого аналізу. На основі накопичених даних можуть формуватися графіки, статистичні показники

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та інші інформаційні представлення, які дозволяють оцінити динаміку змін стану навколишнього середовища.

Важливим елементом архітектури системи є підсистема візуалізації, яка забезпечує відображення отриманих даних у зручному для користувача вигляді. Інформація про температуру, вологість та атмосферний тиск може відображатися у вигляді таблиць, графіків або інформаційних панелей, що дозволяє швидко оцінити поточний стан атмосферного середовища та простежити зміни параметрів у часі.

Окреме місце в архітектурі системи займає підсистема автономного живлення, яка забезпечує функціонування вимірювального вузла незалежно від стаціонарних джерел електроенергії. Для цього використовується комбінація сонячної панелі, акумуляторного накопичувача та електронної схеми керування зарядом. Сонячна панель виконує функцію генератора електричної енергії, акумулятор забезпечує її накопичення та використання в періоди відсутності освітлення, а блок керування живленням стабілізує напругу та захищає систему від перевантаження або глибокого розряду. Така структура дозволяє вимірювальному вузлу працювати автономно протягом тривалого часу без необхідності зовнішнього обслуговування. Структурна схема подана на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Структурна схема

У межах сформованої архітектури всі елементи системи працюють як взаємопов'язані компоненти єдиного програмно-технічного комплексу. Сенсорний модуль забезпечує отримання інформації про стан атмосфери, мікроконтролерна платформа виконує її обробку та підготовку до передавання, бездротовий канал зв'язку забезпечує доставлення даних до серверної частини системи, а сервер та інтерфейс візуалізації відповідають за збереження й відображення отриманої інформації. У результаті формується цілісна система метеорологічного моніторингу, здатна працювати автономно, здійснювати безперервний збір даних і забезпечувати їх наочне представлення для подальшого аналізу.

2.2 Вибір апаратних компонентів системи

Під час розроблення програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних важливим етапом стає обґрунтований вибір апаратних компонентів, які формують основу вимірювального вузла. Саме апаратна частина визначає точність вимірювань, стабільність роботи системи, її енергоефективність та можливість тривалої автономної експлуатації. У межах створюваної системи вимірювальний модуль сформовано як інтегрований комплекс, що включає мікроконтролерну платформу, сенсорні елементи для вимірювання параметрів середовища, підсистему бездротового зв'язку та модуль автономного живлення. Кожен із цих компонентів підібрано з урахуванням технічних характеристик, доступності, сумісності між собою та доцільності використання саме в задачах метеорологічного моніторингу.

Центральним елементом системи виступає мікроконтролерна платформа ESP32, яка виконує функції керування всіма процесами вимірювального вузла. Даний мікроконтролер побудовано на основі двоядерного процесора Tensilica Xtensa LX6 із тактовою частотою до 240 МГц, що забезпечує достатній рівень обчислювальної продуктивності для виконання декількох задач одночасно.

Наявність двох обчислювальних ядер дозволяє розділяти процеси збору даних із сенсорів, обробки інформації та мережевої взаємодії. Це особливо важливо для систем моніторингу, де вимірювання повинні здійснюватися регулярно, незалежно від стану мережевого підключення.

ESP32 має вбудований модуль бездротового зв'язку Wi-Fi стандарту 802.11 b/g/n, що дозволяє організувати пряме підключення вимірювального вузла до локальної мережі або інтернет-інфраструктури без використання додаткових комунікаційних пристроїв. Завдяки цьому значно спрощується апаратна структура системи та зменшується її енергоспоживання. Крім того, мікроконтролер підтримує широкий набір периферійних інтерфейсів, серед яких I²C, SPI, UART, PWM та аналогові входи. Це створює можливість підключення різноманітних сенсорних модулів і допоміжних пристроїв без необхідності застосування додаткових перетворювачів або контролерів.

Важливою характеристикою ESP32 є підтримка режимів енергозбереження, зокрема режимів Light Sleep та Deep Sleep. У цих режимах споживання енергії мікроконтролером суттєво зменшується, що є критично важливим для систем із автономним живленням. Завдяки можливості переходу в режим глибокого сну між вимірюваннями система здатна значно зменшити середнє енергоспоживання та продовжити час роботи від акумулятора.

Для вимірювання температури повітря та відносної вологості у системі застосовано цифровий датчик DHT22 (AM2302). Цей сенсор широко використовується у системах екологічного та мікрокліматичного моніторингу завдяки поєднанню достатньої точності, простоти використання та невеликого енергоспоживання. Датчик здатний вимірювати температуру у діапазоні приблизно від -40 до $+80$ °C з типовою похибкою близько $\pm 0,5$ °C. Відносна вологість вимірюється в діапазоні від 0 до 100 %, при цьому типова похибка становить близько $\pm 2-5$ %.

Особливістю датчика DHT22 є використання цифрового протоколу передавання даних, що дозволяє передавати результати вимірювань

безпосередньо до мікроконтролера у вигляді цифрових значень. Це спрощує процес обробки сигналів та усуває потребу у використанні аналогово-цифрових перетворювачів. Датчик містить вбудований мікроконтролер, який виконує первинну обробку вимірювань і передає вже підготовлені дані до основного керуючого модуля. Завдяки цьому зменшується навантаження на основний мікроконтролер системи.

Для визначення атмосферного тиску у складі вимірювального вузла використовується барометричний сенсор BMP280, який належить до класу високоточних цифрових датчиків тиску. Даний сенсор здатний вимірювати атмосферний тиск у діапазоні приблизно від 300 до 1100 гПа, що повністю покриває діапазон атмосферного тиску в природних умовах. Похибка вимірювання при цьому становить близько ± 1 гПа, що дозволяє використовувати отримані дані не лише для загального контролю погодних умов, але й для аналізу атмосферних тенденцій.

BMP280 підключається до мікроконтролера через інтерфейс I²C, що забезпечує стабільний та швидкий обмін даними між сенсором і мікроконтролером. Додатковою перевагою цього датчика є низьке енергоспоживання, що робить його придатним для використання у системах із автономним живленням.

Передавання даних у системі здійснюється через бездротовий модуль Wi-Fi, інтегрований у мікроконтролер ESP32. Використання бездротового зв'язку дозволяє організувати передачу інформації від вимірювального вузла до серверної частини системи без використання кабельної інфраструктури. Такий підхід значно спрощує процес встановлення системи, особливо у випадках, коли вимірювальні вузли розташовуються на відкритій місцевості або у важкодоступних місцях. Передавання даних може здійснюватися за допомогою стандартних мережевих протоколів, що дозволяє інтегрувати систему з веб-сервісами або хмарними платформами для подальшого збереження та аналізу

інформації. Основні технічні характеристики апаратних компонентів системи подані на таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Основні технічні характеристики апаратних компонентів системи

Компонент	Основні характеристики	Причина вибору
ESP32	Двоядерний процесор до 240 МГц, Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth, 520 КБ SRAM, живлення 3.3 В	Наявність вбудованого Wi-Fi, висока продуктивність, підтримка режимів енергозбереження
DHT22	Діапазон температур $-40...+80$ °C, точність ± 0.5 °C; вологість 0–100 %, точність ± 2 %	Висока точність вимірювання та простота підключення
BMP280	Діапазон тиску 300–1100 гПа, точність ± 1 гПа, інтерфейс I ² C/SPI	Компактність та висока точність вимірювання атмосферного тиску
Акумулятор 18650 (Panasonic NCR18650B)	Номінальна напруга 3.6 В, ємність 3350 мА·год	Велика енергомісткість і стабільність роботи
Сонячна панель 6 В, 3.5 Вт	Напруга 6 В, потужність до 3.5 Вт, струм до 500 мА	Забезпечує заряджання акумулятора та автономну роботу
Контролер заряду BQ24074	Підтримка Li-Ion акумуляторів, струм заряду до 1.5 А	Захист від перезаряду та стабільне заряджання
DC-DC стабілізатор	Вихідна напруга 3.3–5 В, ККД до 90 %	Забезпечує стабільне живлення ESP32 та сенсорів

Окрему увагу приділено підсистемі автономного живлення, яка забезпечує безперервну роботу вимірювального вузла незалежно від наявності стаціонарної електромережі. Основним джерелом енергії у системі виступає сонячна панель потужністю кілька ват, яка перетворює сонячне випромінювання на електричну енергію. Отримана енергія накопичується у літій-іонному або літій-полімерному акумуляторі, що дозволяє підтримувати роботу системи у нічний час або за умов недостатньої освітленості.

Для керування процесом заряджання акумулятора застосовується контролер заряду, який регулює струм заряджання та запобігає перезаряду або глибокому розряду акумулятора. Використання такого контролера дозволяє значно продовжити термін служби акумуляторного накопичувача та забезпечити безпечну роботу системи.

Оскільки різні компоненти системи працюють при різних рівнях напруги, до складу підсистеми живлення включено DC-DC перетворювач або стабілізатор напруги, який формує стабільну напругу живлення для мікроконтролера та сенсорних модулів. Стабільність живлення є важливою умовою коректної роботи електронних компонентів і безпосередньо впливає на точність вимірювань.

У результаті обрані апаратні компоненти формують цілісну та узгоджену структуру вимірювального вузла метеорологічного моніторингу. Мікроконтролер ESP32 забезпечує керування всією системою та передавання даних, сенсори DHT22 і BMP280 відповідають за вимірювання основних параметрів атмосфери, бездротовий модуль Wi-Fi забезпечує зв'язок із серверною частиною, а підсистема автономного живлення на основі сонячної панелі та акумулятора гарантує тривалу роботу системи в автономному режимі. Поєднання цих компонентів створює основу для побудови енергоефективної, автономної та масштабованої системи метеорологічного моніторингу, придатної для використання у реальних умовах експлуатації.

2.3 Організація роботи мікроконтролерної платформи ESP32

У структурі програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу мікроконтролерна платформа виконує роль центрального керуючого елемента, який забезпечує узгоджену роботу всіх апаратних та програмних компонентів системи. Саме на цьому рівні здійснюється взаємодія із сенсорними модулями, обробка отриманої інформації, формування структурованих пакетів даних та їх подальше передавання до серверної частини системи. У межах створюваного вимірювального вузла використано мікроконтролерну платформу ESP32, що поєднує достатню обчислювальну потужність, вбудовані засоби бездротового зв'язку та широкий набір периферійних інтерфейсів.

Організація роботи мікроконтролера починається з ініціалізації основних апаратних модулів після подачі живлення на систему. Під час запуску виконується налаштування внутрішніх ресурсів контролера, конфігуруються порти введення-виведення, активуються необхідні інтерфейси обміну даними та встановлюються початкові параметри роботи програмного середовища. На цьому етапі також виконується ініціалізація сенсорних модулів, що забезпечує готовність датчиків до подальшого отримання вимірювань. Після завершення початкової конфігурації мікроконтролер переходить до основного циклу роботи системи.

Основний алгоритм функціонування платформи ESP32 організовано у вигляді повторюваного циклу, в межах якого послідовно виконуються операції збору, обробки та передавання даних. На першому етапі здійснюється зчитування інформації із сенсорних модулів, що відповідають за вимірювання параметрів атмосферного середовища. Датчики температури, вологості та атмосферного тиску передають результати вимірювань до мікроконтролера через цифрові інтерфейси, після чого ці значення перетворюються у числові параметри, придатні для подальшої обробки. Отримані показники зберігаються у внутрішній пам'яті мікроконтролера та використовуються для формування

інформаційного повідомлення, яке містить повний набір поточних метеорологічних параметрів.

Після отримання вимірювальних даних виконується етап їх первинної обробки. На цьому рівні здійснюється перевірка коректності отриманих значень, фільтрація можливих аномальних показників та підготовка інформації до передавання мережею. Така обробка дозволяє підвищити надійність роботи системи та зменшити вплив випадкових помилок вимірювання. Крім того, на цьому етапі може виконуватися перетворення одиниць вимірювання, формування часових міток або додавання службової інформації, що дозволяє однозначно ідентифікувати отримані дані під час їх подальшого збереження на сервері.

Наступним етапом роботи мікроконтролера є організація мережевої взаємодії. Платформа ESP32 містить інтегрований модуль Wi-Fi, що дозволяє безпосередньо підключатися до бездротової мережі та передавати інформацію на віддалений сервер. Після встановлення з'єднання сформований пакет даних передається через мережевий інтерфейс до серверної частини системи, де він приймається, зберігається та використовується для подальшого аналізу. У випадку тимчасової відсутності з'єднання з мережею мікроконтролер може зберігати отримані вимірювання у внутрішній пам'яті та передавати їх після відновлення зв'язку. Такий підхід дозволяє уникнути втрати інформації та забезпечує стабільність роботи системи навіть у складних умовах мережевої взаємодії.

Окрім виконання основних функцій збору та передавання даних, мікроконтролер ESP32 також забезпечує керування режимами роботи всієї системи. У межах програмної логіки визначається періодичність виконання вимірювань, частота передавання інформації та порядок взаємодії між різними компонентами вимірювального вузла. Така організація дозволяє оптимізувати роботу системи та забезпечити раціональне використання обчислювальних ресурсів.

Особливу увагу приділено питанням енергозбереження, оскільки система метеорологічного моніторингу працює від автономного джерела живлення. Для зменшення енергоспоживання мікроконтролер використовує режими зниженого споживання енергії, які активуються між виконанням вимірювальних циклів. У такі моменти більшість внутрішніх модулів контролера переходить у режим сну, а активним залишається лише таймер, який відповідає за пробудження системи у визначений момент часу. Після завершення періоду сну контролер автоматично повертається до активного режиму та виконує наступний цикл вимірювань і передавання даних. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити середнє енергоспоживання системи та забезпечити тривалу автономну роботу вимірювального вузла.

У структурі програмного забезпечення мікроконтролера важливе місце займає механізм керування задачами. Завдяки обчислювальним можливостям ESP32 різні функції системи можуть виконуватися незалежно одна від одної. Наприклад, один процес відповідає за зчитування даних із сенсорів, інший - за формування мережевих повідомлень, а третій - за контроль режимів енергоспоживання. Така організація програмної логіки дозволяє підвищити стабільність роботи системи та забезпечити більш гнучке керування її функціонуванням.

Отже, організація роботи мікроконтролерної платформи ESP32 у межах системи метеорологічного моніторингу передбачає послідовне виконання кількох взаємопов'язаних процесів: ініціалізацію апаратних ресурсів, зчитування даних із сенсорів, їх первинну обробку, формування інформаційних повідомлень, передавання даних до серверної частини системи та керування енергетичними режимами роботи. Поєднання цих функцій у межах одного керуючого модуля дозволяє сформувати компактний та ефективний вимірювальний вузол, здатний автономно збирати метеорологічну інформацію та передавати її для подальшого аналізу і візуалізації.

2.4 Організація передавання та зберігання метеорологічних даних

Ефективність роботи системи метеорологічного моніторингу значною мірою визначається тим, наскільки надійно та стабільно організовано процес передавання і збереження отриманої інформації. Вимірювання параметрів середовища саме по собі не має практичної цінності без можливості їх накопичення, подальшого аналізу та відображення у зрозумілій для користувача формі. Саме тому під час проєктування програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу особливу увагу приділено організації механізмів передавання вимірюваних даних від сенсорного вузла до серверної частини системи, а також їх структурованому зберігання.

У створюваній системі передавання метеорологічної інформації здійснюється за допомогою бездротової мережевої інфраструктури, використовуючи вбудований у мікроконтролер ESP32 модуль Wi-Fi. Такий підхід дозволяє організувати прямий зв'язок між вимірювальним вузлом і серверною частиною без використання додаткових комунікаційних пристроїв або складної кабельної інфраструктури. Мікроконтролер підключається до бездротової мережі після запуску системи, використовуючи заздалегідь визначені параметри доступу до мережі, такі як назва мережі та пароль. Після успішного встановлення з'єднання система переходить до режиму регулярного обміну інформацією з сервером.

Передавання даних починається з формування інформаційного пакета, який містить результати вимірювань основних метеорологічних параметрів. До складу такого пакета входять значення температури повітря, відносної вологості та атмосферного тиску, отримані від відповідних сенсорних модулів. Окрім основних вимірювань до пакета додається службова інформація, що дозволяє коректно інтерпретувати отримані дані на серверному рівні. До такої інформації може належати час виконання вимірювання, ідентифікатор вимірювального вузла або інші параметри, що характеризують стан системи.

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після формування пакета даних мікроконтролер здійснює його передавання через мережевий інтерфейс до віддаленого сервера. Передавання може виконуватися за допомогою стандартних мережевих протоколів обміну даними, що дозволяє легко інтегрувати систему з веб-сервісами або іншими інформаційними платформами. Отриманий пакет інформації надходить на сервер, де проходить етап приймання та подальшої обробки. Серверна частина системи виконує функції централізованого вузла збору даних, який акумулює інформацію від одного або декількох вимірювальних модулів.

Важливим елементом системи є механізм збереження отриманих даних. Після приймання пакета серверна частина системи записує інформацію до бази даних, у якій формуються структуровані записи вимірювань. Кожен запис містить значення параметрів середовища та часову мітку, що дозволяє відстежувати зміну показників у часі. Така організація зберігання інформації створює основу для формування історичних даних спостережень і дозволяє аналізувати тенденції зміни метеорологічних параметрів.

Накопичення інформації у базі даних дає можливість формувати часові ряди вимірювань, які є важливими для аналізу стану навколишнього середовища. На основі збережених даних можуть будуватися графіки змін температури, вологості або атмосферного тиску, що дозволяє наочно оцінювати динаміку погодних умов. Крім того, наявність історичних даних відкриває можливість подальшого використання інформації для статистичного аналізу або прогнозування змін параметрів середовища.

Під час організації передавання даних також враховано можливі перебої у роботі мережевого з'єднання. У реальних умовах експлуатації бездротовий канал зв'язку може бути нестабільним, що призводить до тимчасової втрати підключення до мережі. Для запобігання втраті інформації система передбачає механізм тимчасового збереження вимірювань у внутрішній пам'яті мікроконтролера. У випадку відсутності мережевого з'єднання отримані дані накопичуються локально, після чого передаються на сервер одразу після

відновлення зв'язку. Такий підхід дозволяє забезпечити цілісність інформації та уникнути пропусків у часових рядах вимірювань.

Ще одним важливим аспектом організації передавання інформації є оптимізація частоти обміну даними. Оскільки система працює від автономного джерела живлення, надмірно часте передавання інформації може призводити до підвищеного енергоспоживання. Саме тому у програмній логіці системи передбачено періодичний режим передавання даних, коли вимірювання виконуються через певні інтервали часу. Такий підхід дозволяє значно зменшити енергетичне навантаження на систему та забезпечити її стабільну автономну роботу.

Серверна частина системи також виконує функції підготовки інформації до подальшої візуалізації. Дані, що зберігаються у базі, можуть використовуватися для формування інформаційних панелей, графічних інтерфейсів або веб-сторінок, де відображаються поточні значення метеорологічних параметрів та історія їх змін. Такий підхід дозволяє користувачу швидко отримувати актуальну інформацію про стан атмосферного середовища та аналізувати її за допомогою наочних інструментів відображення.

У результаті організація передавання та зберігання метеорологічних даних формує важливу частину функціонування програмно-технічного засобу моніторингу. Вимірювальний вузол забезпечує отримання параметрів середовища та їх передавання через бездротову мережу, серверна частина системи виконує функції приймання, накопичення та структурованого зберігання інформації, а механізми обробки та візуалізації дозволяють перетворити отримані дані на зручний інструмент спостереження за станом навколишнього середовища. Така організація роботи системи створює основу для формування повноцінної інформаційної інфраструктури метеорологічного моніторингу, здатної працювати в автоматичному режимі та забезпечувати стабільне накопичення даних протягом тривалого часу.

2.5 Організація автономного живлення системи

Під час проектування програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу одним із найважливіших завдань стало забезпечення його стабільної роботи без підключення до стаціонарної електромережі. Оскільки вимірювальний вузол передбачається встановлювати у віддаленому місці, система живлення має не лише подавати напругу на мікроконтролер і сенсори, але й підтримувати роботу протягом доби, незалежно від часу доби та погодних умов. Саме через це як основу автономного живлення обрано поєднання сонячної панелі, акумуляторного накопичувача, контролера заряду та вузла стабілізації напруги. Така структура є типовою для малопотужних автономних IoT-систем і дозволяє організувати безперервну роботу вимірювального вузла в циклічному режимі.

Як акумуляторний накопичувач доцільно використати літій-іонний елемент формату 18650 Panasonic NCR18650B. Для цього елемента у відкритих технічних даних наведено номінальну напругу 3,6 В, типову ємність 3350 мА·год і мінімальну ємність 3250 мА·год, а також стандартний струм заряджання 1625 мА. Формат 18650 є зручним тим, що поєднує достатню енергомісткість, відносно компактні розміри та простоту монтажу у корпусі автономного вузла. Для метеостанції на базі ESP32 та сенсорів температури, вологості й тиску такий акумулятор є вдалим компромісом між запасом енергії, масогабаритними показниками та вартістю. Він не є надто великим для компактної конструкції, але водночас забезпечує достатній ресурс для роботи в нічний час або в періоди слабкого освітлення.

Використання саме одного елемента 18650 є доцільним ще й тому, що більшість компонентів майбутньої системи орієнтовані на низьковольтне живлення. ESP32 працює у діапазоні напруг, характерному для 3,3-вольтових систем, а отже напруга одного літій-іонного елемента є зручною для подальшої стабілізації. Крім того, один акумулятор спрощує схему заряджання, захисту та

контролю стану батареї. Це дозволяє уникнути зайвого ускладнення конструкції, яке могло б з'явитися при використанні декількох послідовно з'єднаних елементів. Для навчального та практичного проєкту такий підхід виглядає найбільш раціональним, оскільки дозволяє отримати надійну систему без надлишкової складності.

Як джерело генерації енергії доцільно використати монокристалічну сонячну панель на 6 В потужністю 3,5 Вт. Для панелей цього класу у відкритих специфікаціях наведено робочу напругу 6 В, потужність близько 3,5–3,69 Вт та струм короткого замикання в межах близько 424–550 мА, залежно від конкретного виконання. Така панель є достатньо компактною для невеликого автономного вузла, але при цьому має запас потужності, якого вистачає не лише для підтримання роботи системи вдень, а й для заряджання акумулятора. Вибір саме 6-вольтової панелі пояснюється тим, що її напруга є зручною для зарядного контролера однієї літій-іонної банки, а потужність 3,5 Вт є достатньою для малопотужної метеостанції, яка працює не в постійному активному режимі, а циклічно.

Потужність 3,5 Вт для цієї системи є доцільною з практичної точки зору. Вимірювальний вузол не виконує безперервну інтенсивну обробку даних, а періодично прокидається, зчитує показники з датчиків, формує пакет даних, передає його та знову переходить у режим зниженого енергоспоживання. Унаслідок цього середнє навантаження на акумулятор є порівняно невеликим. Панель меншої потужності могла б працювати на межі можливостей, особливо восени або взимку, тоді як панель на 3,5 Вт створює необхідний запас енергії для більш стабільного заряджання. Водночас встановлення значно більшої панелі у межах цієї роботи виглядало б надлишковим, оскільки збільшило б габарити, масу та вартість системи без пропорційного приросту практичної користі.

Для організації процесу заряджання акумулятора доцільно використати контролер заряду BQ24074. У технічній документації виробника зазначено, що цей мікросхемний контролер призначений для роботи з одним літій-іонним

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементом, підтримує струм заряджання до 1,5 А та реалізує функції керування живленням і зарядом в одному вузлі. Головною перевагою такого рішення є можливість одночасно жити систему та заряджати акумулятор, що особливо важливо для автономної станції, яка вдень має не лише накопичувати енергію, а й продовжувати поточну роботу.

Оскільки мікроконтролер ESP32 та сенсорні модулі потребують стабільного живлення, після акумулятора і зарядного контролера необхідно передбачити вузол стабілізації напруги. На практиці це означає, що енергія від сонячної панелі спочатку подається на контролер заряду, далі накопичується в акумуляторі, а вже від акумулятора через стабілізатор або DC-DC перетворювач подається на ESP32 і периферійні модулі. Така побудова дозволяє відокремити процес накопичення енергії від процесу живлення електроніки та забезпечити стабільний рівень напруги навіть тоді, коли заряд акумулятора змінюється. Унаслідок цього зменшується ймовірність збоїв роботи мікроконтролера, помилок передачі даних або некоректних показів сенсорів.

Суттєву роль у забезпеченні довготривалої автономної роботи відіграє і програмна організація енергоспоживання. ESP32 підтримує режими сну, за рахунок яких система може перебувати більшу частину часу у стані мінімального споживання, а активізуватися лише через задані інтервали для виконання вимірювань та передачі інформації. Саме завдяки такій логіці навіть один акумулятор 18650 і сонячна панель 6 В, 3,5 Вт виглядають достатніми для побудови автономного метеорологічного вузла навчально-прикладного рівня. У цьому випадку апаратна і програмна частини доповнюють одна одну: апаратна частина забезпечує накопичення та подачу енергії, а програмна - її раціональне використання.

У підсумку для реалізації автономного живлення системи доцільно обрати таку конфігурацію: сонячна панель 6 В, 3,5 В, акумулятор Panasonic NCR18650B 3,6 В ємністю 3350 мА·год, контролер заряду BQ24074 та вузол стабілізації живлення для ESP32 і сенсорів. Саме така конфігурація виглядає найбільш

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збалансованою для запропонованої метеорологічної системи, оскільки поєднує достатній запас енергії, відносну простоту побудови, придатність до тривалої автономної роботи та реалістичність подальшої практичної реалізації.

2.6 Висновок до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи сформовано проєктну основу програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних. Основну увагу приділено побудові архітектури системи, вибору апаратних компонентів, організації роботи мікроконтролерної платформи ESP32, передаванню та збереженню даних, а також автономному живленню вимірювального вузла. У результаті розділ став логічним переходом від аналізу предметної області до практичної реалізації системи, оскільки в ньому визначено, з яких частин складається програмно-технічний засіб і яким способом ці частини взаємодіють між собою.

У межах архітектури системи метеорологічного моніторингу сформовано багаторівневу структуру, що об'єднує сенсорний модуль, мікроконтролерну платформу, підсистему автономного живлення, канал бездротового зв'язку, серверну частину, базу даних і панель візуалізації. Така побудова дозволяє розділити функції між окремими рівнями системи. Сенсорна частина відповідає за отримання фізичних параметрів середовища, ESP32 забезпечує їх обробку та підготовку до передавання, серверне середовище приймає й накопичує дані, а вебінтерфейс забезпечує їх наочне подання. Завдяки цьому система розглядається не як окремий вимірювальний пристрій, а як цілісний програмно-технічний комплекс.

3 РОЗГОРТАННЯ ТА ПЕРЕВІРКА РОБОТИ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

3.1 Формування вимірювального вузла на базі ESP32 та сенсорних модулів

Формування вимірювального вузла є одним із ключових практичних етапів створення програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу, оскільки саме цей вузол безпосередньо взаємодіє з навколишнім середовищем, виконує зчитування фізичних параметрів, забезпечує їх первинну обробку та готує дані до подальшого передавання на серверну частину системи. У межах апаратної реалізації вимірювальний вузол сформовано на базі мікроконтролерної плати ESP32 DevKit, сенсорів DHT22 і BMP280, підсистеми стабілізованого живлення та з'єднувальних ліній, що забезпечують обмін даними між окремими компонентами.

Основою вимірювального вузла виступає плата ESP32 DevKit, яка виконує роль центрального керуючого модуля. На неї покладено завдання ініціалізації датчиків, періодичного опитування сенсорів, перевірки коректності отриманих значень, формування інформаційного пакета та підготовки даних до передавання через бездротовий канал зв'язку. Використання саме ESP32 є доцільним через наявність вбудованого Wi-Fi-модуля, достатньої кількості GPIO-контактів, підтримки цифрових інтерфейсів I²C, SPI та UART, а також можливості роботи в енергоощадних режимах. Для автономного пристрою це має важливе значення, оскільки мікроконтролер не лише обробляє дані, а й бере участь у керуванні загальним енергоспоживанням системи.

У складі сенсорної частини використано два вимірювальні модулі. Датчик DHT22 застосовано для отримання значень температури повітря та відносної вологості, а датчик BMP280 - для вимірювання атмосферного тиску. Така комбінація дозволяє охопити базовий набір метеорологічних параметрів, які необхідні для побудови простої, але функціонально повної системи моніторингу. DHT22 працює за власним цифровим протоколом передавання даних і

підключається до одного цифрового входу ESP32, тоді як BMP280 використовує інтерфейс I²C, що забезпечує більш універсальний і стабільний обмін даними між сенсором і мікроконтролером.

Підключення барометричного сенсора BMP280 організовано через стандартну шину I²C. Лінію SDA з'єднано з контактом GPIO21 мікроконтролера ESP32, а лінію SCL - з контактом GPIO22. Живлення датчика подано від стабілізованої лінії 3,3 В, а контакт GND з'єднано із загальною землею всієї системи. Така схема підключення відповідає логічним рівням ESP32 і не потребує додаткового узгодження напруги. У разі використання готового модуля BMP280 на платі вже можуть бути передбачені підтягувальні резистори для ліній SDA та SCL, однак під час складання вузла їх наявність потрібно враховувати, щоб уникнути дублювання або нестабільної роботи шини. Адреса сенсора на шині I²C зазвичай становить 0x76 або 0x77, що враховується під час програмної ініціалізації.

Датчик DHT22 підключено до цифрового контакту GPIO4. Його живлення організовано від лінії 3,3 В, оскільки входи ESP32 не розраховані на роботу з п'ятивольтовою логікою. Сигнальний контакт датчика з'єднано з GPIO4 через інформаційну лінію, а між сигнальним контактом і живленням передбачено підтягувальний резистор номіналом близько 10 кОм. Такий резистор потрібний для стабілізації рівня сигналу та зменшення ймовірності помилок під час передавання даних. DHT22 має порівняно невисоку частоту оновлення показників, тому в програмній логіці враховано паузу між зчитуваннями, щоб датчик встигав коректно сформулювати нове значення температури та вологості.

На рисунку 3.1 зображено схему підключення сенсорних модулів до мікроконтролерної плати ESP32.

У схемі показано, що DHT22 використовує окрему цифрову лінію для передавання значень температури та вологості, тоді як BMP280 підключено до спільної I²C-шини через лінії SDA та SCL. Обидва сенсори отримують живлення від стабілізованої лінії 3,3 В і мають спільний провід GND з мікроконтролером.

Така побудова забезпечує узгоджену електричну основу для всіх компонентів вимірювального вузла.

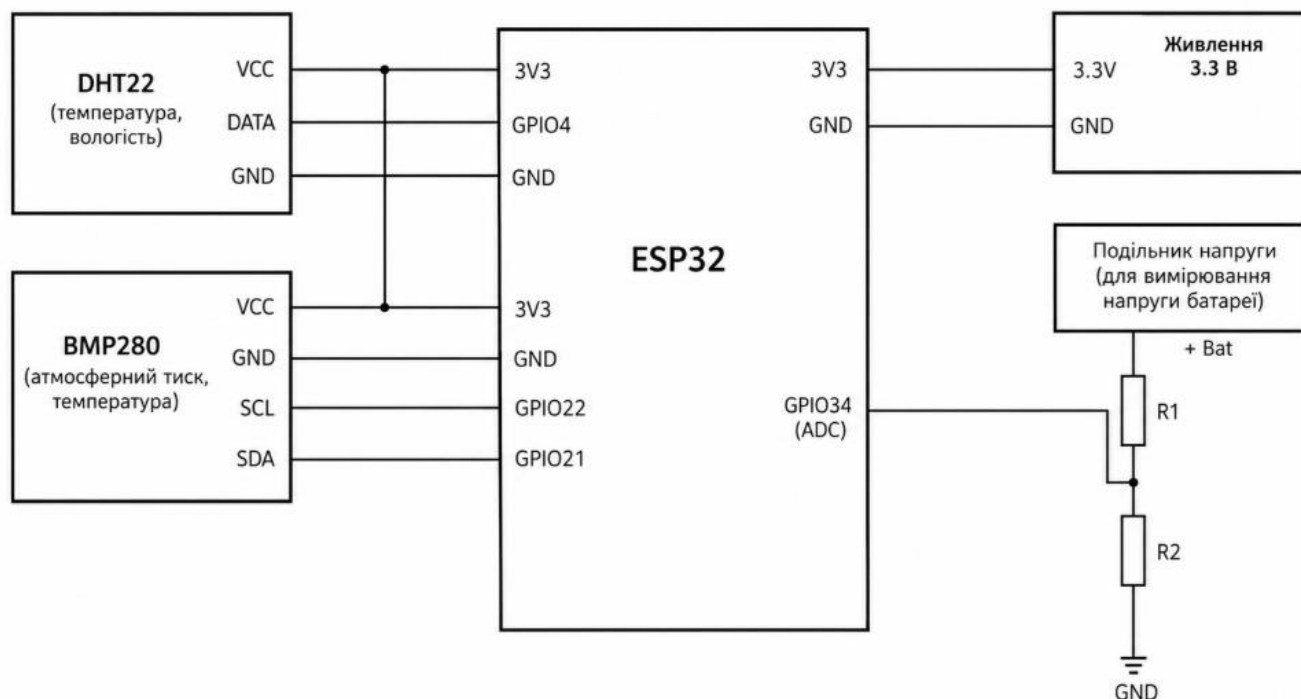


Рисунок 3.1 – Схема підключення сенсорних модулів до ESP32

Окрему увагу під час формування вузла приділено організації живлення. ESP32 у момент активного передавання даних через Wi-Fi може створювати короткочасні піки споживання, тому живлення мікроконтролера має бути стабільним і мати достатній запас за струмом.

Для цього передбачено використання стабілізатора або DC-DC перетворювача, який формує стабільний рівень напруги для ESP32 та сенсорних модулів. На лінії живлення доцільно передбачити фільтрувальні конденсатори: невеликі керамічні конденсатори біля сенсорів для згладжування високочастотних завад і електролітичний конденсатор більшої ємності біля ESP32 для компенсації короткочасних провалів напруги під час роботи Wi-Fi.

Усі елементи вимірювального вузла мають спільну лінію землі. Це є обов'язковою умовою стабільного цифрового обміну, оскільки без спільного GND мікроконтролер і сенсори не матимуть єдиного електричного нуля, що

може призвести до помилок зчитування або повної відсутності обміну. З'єднання сигнальних ліній виконуються якомога коротшими провідниками, особливо для шини I²C, оскільки надмірна довжина провідників може спричинити наведення, спотворення фронтів сигналу та нестабільність передавання даних. Для макетного збирання допускається використання провідників Dupont, однак для більш надійної експлуатації доцільним є подальше перенесення вузла на монтажну плату або друковану плату з фіксованими з'єднаннями.

Для підвищення стабільності роботи також враховано розміщення сенсорів у корпусі. Датчик DHT22 не повинен розташовуватися поруч із мікроконтролером, стабілізатором живлення або акумулятором, оскільки ці компоненти можуть нагріватися під час роботи і спотворювати реальні показники температури. Його доцільно винести ближче до вентиляційної частини корпусу або розмістити в окремому захисному кожусі з отворами для вільного проходження повітря. При цьому сенсор має бути захищений від прямого сонячного випромінювання та потрапляння опадів, оскільки нагрів корпусу датчика або волога на поверхні чутливого елемента можуть викликати некоректні результати вимірювання.

Датчик BMP280, на відміну від DHT22, менш чутливий до прямого повітряного потоку, однак він не повинен бути повністю ізольований від атмосферного середовища. Для коректного вимірювання тиску корпус пристрою не має бути герметичним. У конструкції передбачаються невеликі вентиляційні отвори, які забезпечують вирівнювання тиску всередині корпусу з навколишнім середовищем. Водночас сам сенсор має бути захищений від прямого потрапляння води, пилу та механічних пошкоджень. Такий підхід дозволяє зберегти точність вимірювання тиску та продовжити термін служби сенсорного модуля.

Під час формування вузла також передбачено можливість контролю напруги акумулятора. Для цього може використовуватися аналоговий вхід ESP32, наприклад GPIO34, до якого через резистивний подільник подається

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшене значення напруги акумулятора. Такий підхід дозволяє програмно відстежувати рівень заряду та передавати на сервер не лише метеорологічні показники, а й стан автономного живлення. Це особливо корисно для системи, яка працює від сонячної панелі, оскільки дозволяє оцінювати, чи достатньо енергії накопичується протягом доби та чи не переходить акумулятор у критично низький рівень заряду.

У межах апаратної побудови також враховано можливість подальшого розширення системи. ESP32 має достатню кількість вільних GPIO-контактів, тому в майбутньому до вимірювального вузла можна додати датчик освітленості, модуль визначення кількості опадів, датчик швидкості вітру або додатковий сенсор температури для порівняльних вимірювань.

Завдяки цьому структура вузла не є закритою і може розвиватися без повної заміни центральної платформи. Це є важливою перевагою для метеорологічних систем, оскільки набір вимірюваних параметрів часто залежить від конкретних умов експлуатації.

На завершальному етапі формування вимірювального вузла виконується первинна перевірка електричних з'єднань. Спочатку перевіряється правильність підключення живлення та відсутність короткого замикання між лініями 3,3 В і GND. Далі перевіряється наявність зв'язку з BMP280 на шині I²C та коректність отримання даних із DHT22. Після цього оцінюється стабільність роботи ESP32 у момент підключення до Wi-Fi, оскільки саме цей режим створює підвищене навантаження на підсистему живлення. Якщо під час передавання даних не виникають перезавантаження, втрати зв'язку із сенсорами або некоректні значення, апаратна частина вважається підготовленою до подальшої програмної реалізації.

3.2 Налаштування циклу роботи ESP32: вимірювання, передавання та перехід у режим очікування

Після формування апаратної частини вимірювального вузла наступним практичним етапом стало налаштування робочого циклу мікроконтролерної платформи ESP32. Саме цей цикл визначає, як система поводить себе після подачі живлення, у якій послідовності виконується зчитування показників, як формується пакет метеорологічних даних, яким способом він передається на сервер і коли мікроконтролер переходить у режим зниженого енергоспоживання. Для автономної метеорологічної системи така логіка має особливе значення, оскільки пристрій не повинен постійно працювати в активному режимі. Якщо ESP32 безперервно підтримує Wi-Fi-з'єднання та постійно опитує сенсори, акумулятор розряджається значно швидше, а сонячна панель не завжди встигає компенсувати витрати енергії. Через це цикл роботи побудовано так, щоб активна фаза була короткою, а більшу частину часу вузол перебував у режимі очікування.

Програмна логіка ESP32 організована за принципом повторюваного циклу: запуск або пробудження мікроконтролера, ініціалізація необхідних модулів, підключення до бездротової мережі, зчитування даних із датчиків, перевірка отриманих значень, формування інформаційного пакета, передавання його на сервер і перехід у режим очікування. Така послідовність дозволяє зробити роботу вузла передбачуваною та зручною для налагодження. Кожен етап виконує окрему роль і не змішується з іншими процесами, що спрощує пошук помилок і подальше вдосконалення програми.

На початковому етапі після подачі живлення або пробудження з режиму сну ESP32 виконує ініціалізацію системних ресурсів. У цей момент налаштовується послідовний порт для відлагодження, активується шина I²C для роботи з датчиком BMP280, готується до зчитування датчик DHT22, а також задаються параметри підключення до Wi-Fi-мережі. Окремо визначаються

змінні для збереження температури, вологості, атмосферного тиску, напруги акумулятора та стану передавання даних. Така структура дозволяє ще на старті підготувати мікроконтролер до повного циклу вимірювання без зайвих повторних налаштувань у середині програми.

Підключення до Wi-Fi виконується лише на час передавання даних. Це важливо з погляду енергоспоживання, оскільки активний Wi-Fi-модуль є одним із найбільш енерговитратних елементів ESP32. Після пробудження контролер намагається підключитися до заданої мережі протягом обмеженого часу. Якщо з'єднання встановлено успішно, система переходить до формування та передавання пакета даних. Якщо ж мережа недоступна, програма не зависає в нескінченному очікуванні, а завершує активний цикл і переходить у режим очікування до наступної спроби. Такий підхід дозволяє уникнути ситуації, коли пристрій довго витрачає заряд акумулятора лише через тимчасову відсутність зв'язку.

Зчитування метеорологічних параметрів виконується після запуску сенсорів. Датчик DHT22 передає значення температури та вологості через цифрову лінію, а BMP280 надає значення атмосферного тиску через інтерфейс I²C. У програмній логіці враховано особливості роботи цих датчиків. DHT22 не потребує занадто частого опитування, тому між послідовними вимірюваннями передбачено часовий інтервал. BMP280 працює швидше, але його показники також проходять перевірку на коректність. Якщо датчик не відповідає або повертає некоректне значення, такий результат не повинен передаватися на сервер як достовірний. У цьому випадку система може сформувати службову ознаку помилки або пропустити передавання пошкодженого пакета.

Первинна перевірка даних є необхідною частиною циклу роботи. Температура, вологість і тиск мають перебувати у фізично допустимих межах. Наприклад, відносна вологість не може бути меншою за 0 % або більшою за 100 %, а атмосферний тиск у звичайних умовах не повинен виходити далеко за межі природного діапазону. Така перевірка не є складною з математичного погляду,

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

але вона підвищує надійність системи, оскільки дозволяє відфільтрувати помилки, спричинені короточасним збоєм сенсора, порушенням контакту або нестабільним живленням.

Після зчитування та перевірки показників ESP32 формує інформаційний пакет. До нього включаються значення температури, вологості, атмосферного тиску, ідентифікатор вимірювального вузла, а також додаткова службова інформація. До такої інформації може належати рівень напруги акумулятора, номер циклу вимірювання або статус з'єднання. Формування пакета у структурованому вигляді потрібне для того, щоб серверна частина могла однозначно розпізнати, які саме дані надійшли від пристрою. Найзручнішим форматом для цього є JSON, оскільки він легко читається, підтримується більшістю серверних технологій і дозволяє передавати кілька параметрів в одному повідомленні.

Приклад логіки сформованого пакета може мати такий вигляд:

```
{  
  "device_id": "esp32_meteo_01",  
  "temperature": 23.6,  
  "humidity": 58.2,  
  "pressure": 1008.4,  
  "battery": 3.91  
}
```

Такий пакет є компактним, але водночас містить усі основні дані, необхідні для подальшого збереження та візуалізації. Ідентифікатор пристрою дозволяє в майбутньому підключати до серверної частини кілька вимірювальних вузлів і відрізняти їх між собою. Значення напруги акумулятора допомагає контролювати стан автономного живлення та оцінювати, наскільки ефективно працює сонячна панель у різні періоди доби.

Передавання даних організовано через бездротову мережу. Для цього може використовуватися MQTT або HTTP-запит до серверної частини. У межах цієї системи доцільним є використання MQTT, оскільки цей протокол добре

підходить для передавання телеметрії від мікроконтролерів. ESP32 виступає як клієнт, який підключається до MQTT-брокера та публікує сформований пакет у визначений канал, наприклад `weather/esp32_01/telemetry`. Серверна частина отримує це повідомлення, обробляє його та записує отримані значення до бази даних. Така схема проста, легка для мікроконтролера і добре підходить для регулярного передавання невеликих пакетів даних.

На рисунку 3.2 зображено послідовність роботи ESP32 у вигляді замкненого циклу.

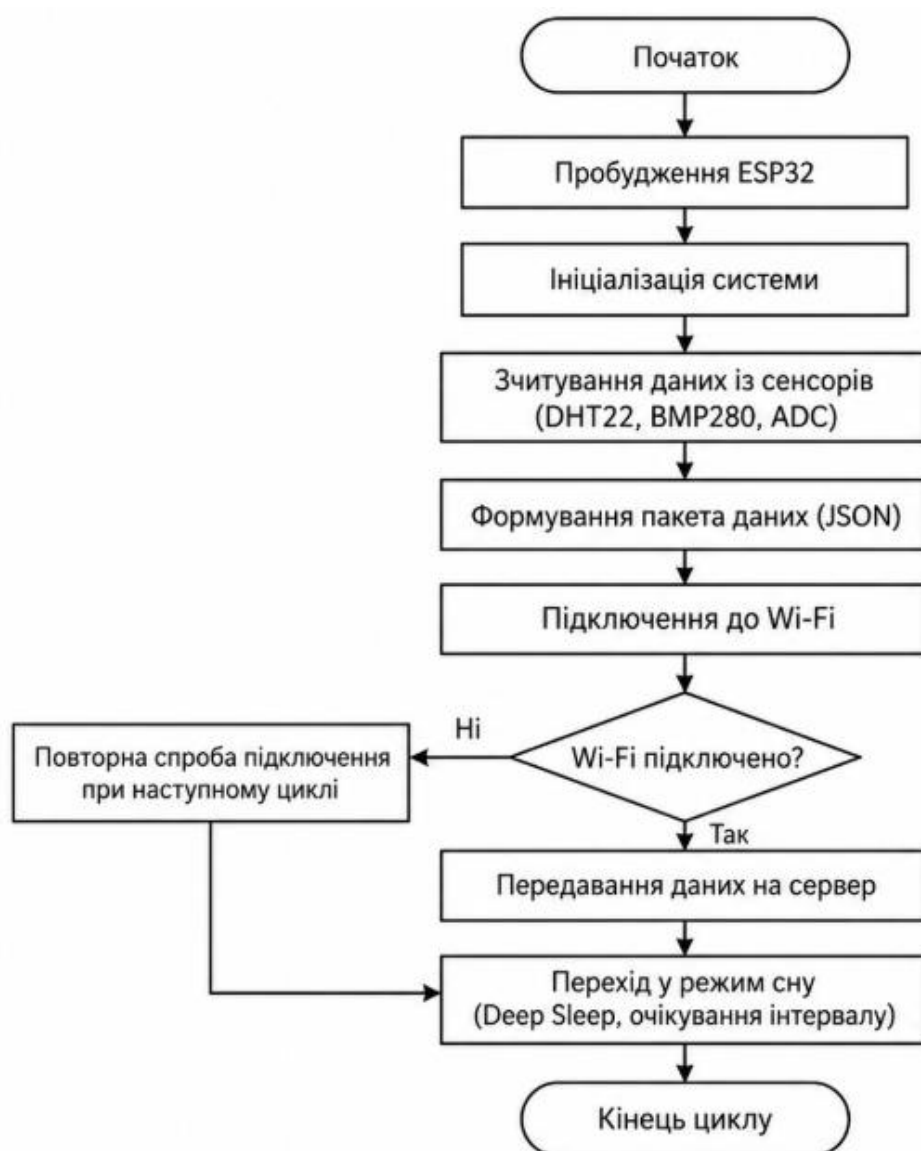


Рисунок 3.2 – Послідовність роботи ESP32 у циклі метеорологічного моніторингу

У схемі показано пробудження мікроконтролера, ініціалізацію сенсорів, підключення до Wi-Fi, зчитування температури, вологості й атмосферного тиску, перевірку коректності показників, формування пакета даних, передавання на сервер і перехід у режим очікування. Такий рисунок наочно показує, що система працює не безперервно в активному режимі, а короткими циклами, між якими енергоспоживання зменшується.

Окремо в логіці циклу враховано можливі проблеми з передаванням. Якщо ESP32 не може підключитися до мережі або сервер не відповідає, система не припиняє роботу. У такому випадку дані можуть бути збережені тимчасово або передані повторно під час наступного циклу. Для простого прототипу достатньо зберігати останній сформований пакет у внутрішній пам'яті до наступної спроби передавання. У розширеній версії можна передбачити буферизацію кількох записів у flash-пам'яті, що дозволить не втрачати історію вимірювань навіть за тривалішої відсутності зв'язку.

Після завершення передавання ESP32 переходить у режим очікування або глибокого сну. Саме цей етап є важливим для автономної роботи системи. У режимі Deep Sleep більшість внутрішніх модулів контролера вимикається, а активним залишається лише таймер пробудження. Перед переходом у сон програма задає інтервал, через який мікроконтролер має знову активуватися. Наприклад, якщо вимірювання виконуються один раз на 5 хвилин, ESP32 більшу частину часу не витрачає енергію на роботу процесора та Wi-Fi-модуля. Після завершення заданого інтервалу контролер автоматично пробуджується і повторює цикл.

Час між вимірюваннями обирається з урахуванням призначення системи. Для метеорологічного моніторингу немає потреби передавати дані щосекунди, оскільки температура, вологість і атмосферний тиск зазвичай змінюються поступово. Інтервал у кілька хвилин є достатнім для отримання актуальної картини стану середовища, але водночас дозволяє зменшити кількість мережевих підключень і скоротити витрати енергії. За потреби цей інтервал

можна змінювати програмно, наприклад зробити частіші вимірювання вдень або рідші вимірювання вночі.

У межах налаштування циклу також передбачено контроль стану живлення. Якщо до аналогового входу ESP32 підключено подільник напруги акумулятора, мікроконтролер може періодично зчитувати рівень заряду. Це дозволяє не лише передавати на сервер метеорологічні параметри, а й контролювати працездатність автономної енергетичної частини. Якщо напруга акумулятора знижується до небезпечного рівня, система може збільшити інтервал між вимірюваннями або тимчасово обмежити кількість передавань. Такий підхід дозволяє захистити акумулятор від глибокого розряду й продовжити автономну роботу пристрою.

Важливим технічним моментом є порядок увімкнення та вимкнення модулів. Після пробудження спочатку активуються інтерфейси сенсорів, далі виконується вимірювання, після цього активується Wi-Fi-з'єднання і лише потім передається пакет даних. Така послідовність є доцільною, оскільки не потрібно утримувати Wi-Fi увімкненим під час зчитування сенсорів. Після завершення передавання мережевий модуль вимикається, а контролер переходить у сон. Це зменшує активний час роботи та дозволяє економніше використовувати заряд акумулятора.

У процесі налагодження циклу роботи ESP32 перевіряється не лише правильність отримання даних, а й стабільність усієї послідовності. Спочатку оцінюється, чи коректно ініціалізуються DHT22 і BMP280, чи не виникають помилки при зчитуванні, чи правильно формується пакет даних. Далі перевіряється підключення до Wi-Fi та передавання повідомлення на сервер. Після цього перевіряється перехід у режим сну та автоматичне пробудження через заданий час. Якщо всі етапи виконуються без зависань і перезавантажень, цикл роботи мікроконтролера вважається налаштованим.

3.3 Підготовка серверного середовища для приймання та збереження метеорологічних даних

Після налаштування циклу роботи ESP32 наступним етапом стала підготовка серверного середовища, яке забезпечує приймання метеорологічних даних, їх перевірку, структурування та збереження для подальшого відображення у панелі візуалізації. Серверна частина в такій системі виконує роль центрального вузла, до якого надходять показники з вимірювального модуля. Якщо ESP32 відповідає за фізичне зчитування температури, вологості та атмосферного тиску, то сервер забезпечує довготривале накопичення цих значень і підготовку даних до подальшого аналізу.

Серверне середовище сформовано як окремий програмний рівень системи, який працює незалежно від вимірювального вузла. Такий підхід дозволяє розділити апаратну частину і логіку збереження інформації. Вимірювальний модуль лише передає сформований пакет даних, а сервер уже виконує подальші операції: приймає повідомлення, перевіряє наявність потрібних полів, додає або уточнює часову мітку, записує значення у базу даних і готує їх до використання засобами візуалізації. За рахунок такого поділу система стає гнучкішою, оскільки зміни на сервері не потребують перероблення всієї апаратної частини.

Для розгортання серверної частини використано середовище на базі Linux, оскільки воно стабільно працює з мережевими службами, підтримує контейнеризацію та добре підходить для довготривалого функціонування у фоновому режимі. Сервер може бути розміщений як на локальному комп'ютері або одноплатному комп'ютері типу Raspberry Pi, так і на віддаленому VPS. У межах практичної реалізації обрано підхід із розгортанням сервісів у контейнерах Docker, оскільки це спрощує запуск, оновлення та перенесення системи на інший пристрій.

Основним каналом приймання даних від ESP32 виступає MQTT-брокер Mosquitto. Використання MQTT є зручним для телеметричних систем, оскільки

протокол орієнтований на передавання невеликих повідомлень від пристроїв із обмеженими ресурсами. У такій схемі ESP32 працює як клієнт, який публікує дані у визначений канал, а серверна частина підписується на цей канал і отримує всі нові повідомлення.

Для впорядкування потоків даних використано тематичну структуру MQTT-каналів. Наприклад, для основного вимірювального вузла сформовано тему `weather/esp32_01/telemetry`. Така назва дозволяє одразу зрозуміти, що повідомлення належить до метеорологічної системи, надходить від конкретного вузла ESP32 і містить телеметричні дані. У разі подальшого розширення системи можна додати інші вузли, наприклад `weather/esp32_02/telemetry` або `weather/greenhouse_01/telemetry`, не змінюючи загальної серверної архітектури. Це робить систему придатною до масштабування, коли до одного сервера підключається кілька автономних вимірювальних модулів.

Пакет даних, який надходить на сервер, має структурований вигляд. Для передавання використовується формат JSON, оскільки він зрозумілий, компактний і зручно обробляється серверними програмними засобами. У повідомленні передаються ідентифікатор пристрою, температура, відносна вологість, атмосферний тиск, напруга акумулятора та службова інформація про стан вузла. Такий формат дозволяє серверу не лише зберігати самі метеорологічні показники, а й контролювати працездатність автономної частини системи.

Приклад структури повідомлення має такий вигляд:

```
{
  "device_id": "esp32_meteo_01",
  "temperature": 23.6,
  "humidity": 58.2,
  "pressure": 1008.4,
  "battery": 3.91,
  "status": "ok"
}
```

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наявність поля `device_id` дозволяє відокремлювати дані різних вимірювальних вузлів. Поля `temperature`, `humidity` і `pressure` містять основні метеорологічні показники, а поле `battery` використовується для контролю автономного живлення. Поле `status` дає можливість передавати службовий стан пристрою, наприклад нормальну роботу, помилку датчика або нестабільний рівень живлення. У такому вигляді пакет залишається простим, але містить достатньо інформації для подальшого аналізу.

Для приймання повідомлень із MQTT-брокера налаштовано окремий службовий модуль. Він працює як проміжна ланка між брокером повідомлень і базою даних. Його завдання полягає не просто в механічному записі отриманого пакета, а в попередній перевірці даних. Після надходження повідомлення модуль перевіряє, чи наявні всі обов'язкові поля, чи можна перетворити значення температури, вологості та тиску у числовий формат, а також чи не виходять ці значення за фізично допустимі межі. Якщо пакет має помилки або неповну структуру, він не записується до основної бази як коректне вимірювання. Це дозволяє не засмічувати сховище випадковими або пошкодженими даними.

Для збереження метеорологічних даних використано базу даних часових рядів InfluxDB. Такий тип бази добре підходить для систем моніторингу, оскільки кожен запис у ній прив'язується до конкретного моменту часу. Температура, вологість, тиск і напруга акумулятора є саме часовими даними, тобто їх цінність розкривається не лише в окремому значенні, а й у динаміці зміни. InfluxDB дозволяє ефективно зберігати такі вимірювання, швидко отримувати їх за потрібний період і використовувати для побудови графіків у засобах візуалізації.

У базі даних для кожного вимірювання формується запис, який містить назву вимірювального вузла, часову мітку та набір числових показників. Дані організовано за принципом, коли один пристрій має власний ідентифікатор, а всі його параметри записуються як окремі поля одного вимірювання. Це спрощує подальше відображення інформації, оскільки для побудови графіка температури,

вологості або тиску достатньо звернутися до відповідного поля в межах одного джерела даних. На рисунку 3.3 зображено структуру серверного середовища, яке забезпечує приймання та збереження метеорологічних даних.

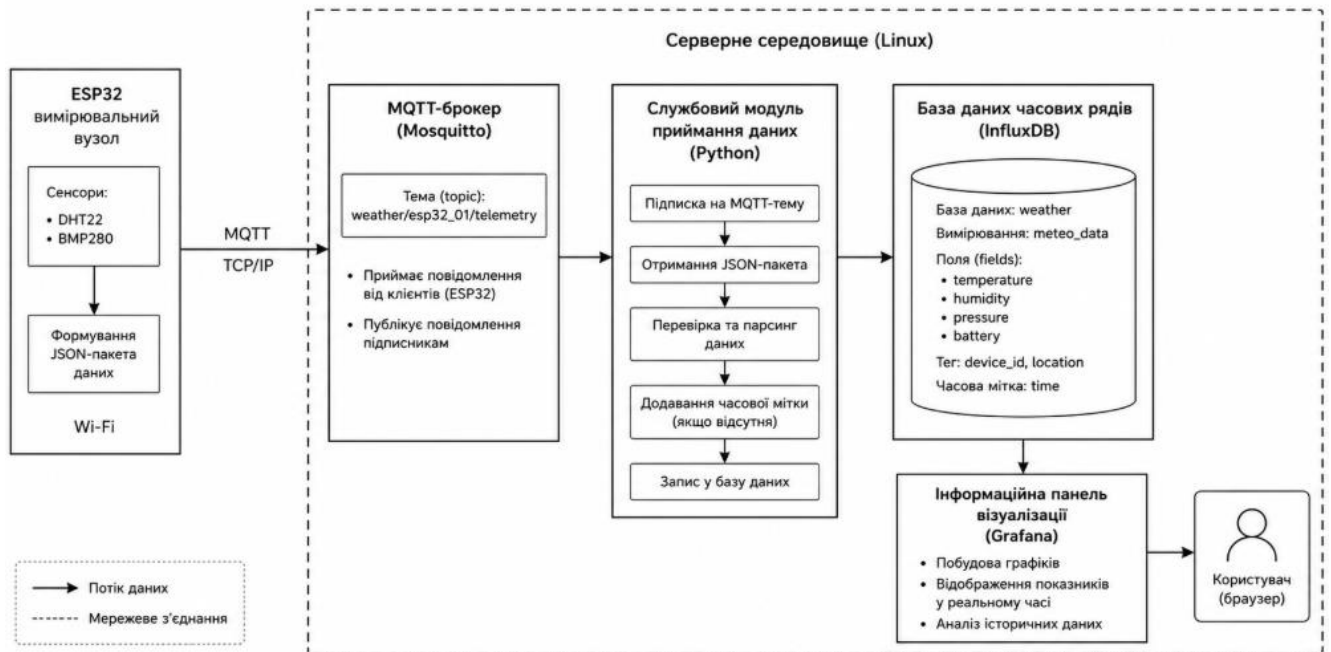


Рисунок 3.3 – Структура серверного середовища для приймання метеорологічних даних

На схемі показано, що ESP32 передає сформований пакет через Wi-Fi до MQTT-брокера Mosquitto. Далі службовий модуль приймання отримує повідомлення з відповідної теми, перевіряє його структуру, виділяє основні параметри та записує їх до бази даних InfluxDB. Після цього збережені значення стають доступними для подальшої візуалізації у графічній панелі.

Під час підготовки серверного середовища особливу увагу приділено часовим міткам. Для метеорологічних даних час вимірювання має принципове значення, оскільки без нього неможливо побудувати коректну динаміку змін. У системі передбачено два можливі підходи. Перший полягає в тому, що ESP32 самостійно отримує час через мережу і додає його до пакета даних. Другий підхід передбачає додавання часової мітки вже на сервері в момент отримання

повідомлення. Для спрощення практичної реалізації використано серверну часову мітку, оскільки сервер має стабільний доступ до системного часу, а вимірювальний вузол не витрачає додатковий час і енергію на синхронізацію годинника.

Окремим завданням стала організація стійкості серверного середовища до перезапусків і тимчасових збоїв. Контейнери налаштовано так, щоб після перезапуску сервера необхідні служби автоматично піднімалися знову. Це важливо для системи моніторингу, яка має працювати без постійного ручного запуску. Якщо сервер перезавантажується, MQTT-брокер, база даних і службовий модуль приймання мають відновити роботу автоматично. Такий підхід підвищує практичну придатність системи та наближає її до реального сценарію експлуатації.

Для збереження даних також передбачено використання постійного сховища контейнерів. Якщо база даних працює в Docker-контейнері без підключеного тому, інформація може втратитися після видалення або перестворення контейнера. Тому для InfluxDB налаштовано окремий том збереження, у якому зберігаються всі накопичені метеорологічні вимірювання. Це дозволяє оновлювати або перезапускати серверні компоненти без втрати історії спостережень.

Структура серверного середовища також враховує можливість подальшої інтеграції з візуалізацією. InfluxDB використовується не лише як місце збереження, а і як джерело даних для побудови інформаційної панелі. Завдяки цьому наступний етап реалізації пов'язується зі створенням графіків температури, вологості, атмосферного тиску та напруги акумулятора.

У процесі налаштування серверної частини також передбачено базові заходи безпеки. MQTT-брокер не повинен приймати повідомлення від випадкових пристроїв, тому в реальному сценарії використання задасться обліковий запис або токен доступу. Це дозволяє обмежити можливість стороннього надсилання даних у систему. Для локального прототипу

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допускається спрощений режим роботи, однак архітектура залишає можливість подальшого додавання автентифікації, захищеного з'єднання та фільтрації повідомлень за ідентифікатором пристрою.

На практичному рівні підготовка серверного середовища завершується перевіркою приймання тестових повідомлень. Спочатку до MQTT-брокера надсилається контрольне повідомлення з тестовими значеннями температури, вологості, тиску та напруги акумулятора. Після цього перевіряється, чи отримує його службовий модуль, чи правильно розпізнає поля JSON і чи записує значення до InfluxDB. Далі перевіряється наявність запису в базі даних і коректність часової мітки. Якщо тестовий пакет проходить усі етапи без помилок, серверне середовище вважається підготовленим до приймання реальних даних від ESP32.

3.4 Створення панелі візуалізації температури, вологості та атмосферного тиску

Після налаштування серверного середовища та організації збереження метеорологічних даних створено панель візуалізації, яка забезпечує наочне відображення результатів роботи вимірювального вузла. Серверна частина приймає та накопичує дані, однак для практичного використання системи цього недостатньо, оскільки користувачеві потрібно не просто отримати набір числових значень, а швидко зрозуміти поточний стан середовища та характер зміни показників у часі. Саме тому окремим етапом реалізовано графічне подання температури, вологості, атмосферного тиску та стану автономного живлення.

Панель візуалізації сформовано як вебінтерфейс, доступний через браузер. Такий підхід обрано через зручність використання та відсутність потреби у встановленні додаткового програмного забезпечення на комп'ютер або мобільний пристрій. Дані, які надходять від ESP32, зберігаються у базі часових рядів, після чого використовуються для побудови графіків та інформаційних

блоків. Унаслідок цього система переходить від простого збирання показників до повноцінного моніторингу, де кожне нове вимірювання автоматично потрапляє в загальну історію спостережень.

Основним джерелом інформації для панелі виступає база даних, у якій збережено записи температури, вологості, атмосферного тиску та напруги акумулятора. Кожен запис має часову мітку, тому дані відображаються не як окремі незалежні значення, а як послідовність вимірювань. Це особливо важливо для метеорологічних параметрів, оскільки їхня практична цінність розкривається саме в динаміці. Наприклад, температура протягом доби поступово змінюється, вологість може різко підвищуватися після опадів або в нічний період, а атмосферний тиск дозволяє простежити загальні погодні тенденції.

У верхній частині панелі розміщено поточні значення основних параметрів. Для температури виведено останнє отримане значення у градусах Цельсія, для вологості - значення у відсотках, для атмосферного тиску - показник у гектопаскалях. Окремо додано індикатор напруги акумулятора, оскільки система працює від автономного сонячного живлення і потребує контролю енергетичного стану. Наявність такого індикатора дозволяє швидко оцінити, чи достатній заряд акумулятора для подальшої роботи вузла, а також чи відбувається відновлення заряду під час роботи сонячної панелі.

Для кожного основного параметра створено окремий графік. Температурний графік показує зміну температури в часі та дозволяє виявляти добові коливання. Графік вологості відображає зміну відносної вологості повітря у відсотках, що дає змогу оцінювати загальний стан повітряного середовища. Графік атмосферного тиску винесено окремо, оскільки його значення мають інший масштаб і змінюються повільніше, ніж температура або вологість. Такий поділ зроблено для того, щоб не змішувати різні фізичні величини на одному графіку та не ускладнювати сприйняття інформації.

Перед вставленням рисунка в тексті вже описано, що саме на ньому відображено. На рисунку 3.4 показано створену панель візуалізації

метеорологічних показників, у якій представлено поточні значення температури, вологості, атмосферного тиску та напруги акумулятора, а також графіки зміни цих параметрів у часі.



Рисунок 3.4 – Панель візуалізації метеорологічних показників

Для підвищення інформативності панелі передбачено можливість використання порогових значень. Для напруги акумулятора може визначатися нижня межа, після якої стан живлення вважається небезпечним для стабільної роботи системи. Для температури, вологості або тиску також можуть задаватися умовні межі, які допомагають швидко помітити нетипові зміни. Такий підхід перетворює панель не лише на засіб перегляду графіків, а й на інструмент контролю стану системи.

Практична перевірка панелі показала, що вона одночасно виконує функції візуалізації та контролю працездатності всієї системи. Якщо на графіках з'являються нові точки, це означає, що сенсори коректно зчитують дані, ESP32 формує інформаційний пакет, бездротове передавання працює, сервер приймає повідомлення, база даних зберігає записи, а вебінтерфейс успішно отримує їх для відображення. Через це панель стала кінцевою ланкою, за якою можна оцінити роботу всього програмно-технічного засобу.

Створена панель також залишає можливість для подальшого розширення. Якщо в майбутньому до системи буде додано датчик освітленості, опадів, швидкості вітру або додатковий сенсор температури, для цих параметрів можна сформувати окремі графіки й інформаційні блоки без повної перебудови серверного середовища.

У підсумку створено панель візуалізації, яка забезпечує зручне подання метеорологічних даних, отриманих від автономного вимірювального вузла на базі ESP32. Реалізовано відображення поточних значень, побудову часових графіків, контроль стану акумулятора та перегляд історії вимірювань. Це дозволяє завершити повний цикл роботи системи: від фізичного вимірювання параметрів середовища до їх передавання, збереження та наочного подання у вебінтерфейсі.

3.5 Висновки до третього розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано практичне розгортання програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролерної платформи ESP32. Основну увагу зосереджено на формуванні вимірювального вузла, налаштуванні циклу роботи мікроконтролера, підготовці серверного середовища для приймання даних і створенні панелі візуального відображення результатів. У результаті сформовано цілісну практичну частину системи, у якій апаратні та програмні компоненти працюють узгоджено й забезпечують повний шлях проходження даних від сенсорів до вебінтерфейсу.

На етапі формування вимірювального вузла реалізовано апаратну основу системи. Центральним керуючим елементом використано плату ESP32 DevKit, до якої підключено датчик DHT22 для вимірювання температури та відносної вологості, а також барометричний сенсор BMP280 для визначення атмосферного тиску. Підключення BMP280 організовано через інтерфейс I²C із використанням

ліній SDA та SCL, а DHT22 підключено до окремого цифрового входу мікроконтролера. Усі сенсорні модулі мають спільну лінію GND і живляться від стабілізованої напруги, що забезпечує коректну електричну взаємодію між компонентами.

Під час формування апаратної частини враховано технічні особливості розміщення сенсорів і живлення. Датчик температури та вологості винесено так, щоб зменшити вплив нагрівання від мікроконтролера, стабілізатора або акумулятора. Барометричний сенсор розміщено з урахуванням доступу до атмосферного повітря, але із захистом від прямого потрапляння вологи та механічних пошкоджень. Для стабільної роботи ESP32 передбачено використання стабілізованого живлення, оскільки під час активного Wi-Fi-з'єднання мікроконтролер може створювати короточасні піки споживання. Таке компонування дозволило сформувати надійний вимірювальний вузол, придатний для подальшого програмного налаштування.

У межах налаштування циклу роботи ESP32 реалізовано послідовність дій, яка забезпечує енергоефективне функціонування автономної системи. Мікроконтролер після запуску або пробудження ініціалізує сенсори, налаштовує необхідні інтерфейси, підключається до Wi-Fi-мережі, зчитує значення температури, вологості, атмосферного тиску та напруги акумулятора. Після цього отримані показники проходять первинну перевірку на коректність, формуються у структурований пакет даних і передаються на серверну частину системи. Після завершення активної фази роботи ESP32 відключає мережевий модуль і переходить у режим зниженого енергоспоживання.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто створення програмно-технічного засобу збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням. Обрана тема пов'язана з потребою у компактних, енергоефективних і доступних системах моніторингу, які здатні працювати у віддалених місцях без постійного підключення до електромережі та забезпечувати регулярне отримання інформації про стан навколишнього середовища.

У першому розділі проаналізовано особливості метеорологічного моніторингу та визначено значення основних параметрів, які характеризують стан атмосферного середовища. До таких параметрів належать температура повітря, відносна вологість та атмосферний тиск. Показано, що саме ці величини формують базовий набір даних для оцінювання поточних погодних умов і подальшого аналізу їх зміни в часі. Також розглянуто сучасні підходи до побудови систем збору та передавання метеорологічної інформації, зокрема використання розподілених вимірювальних вузлів, бездротового зв'язку, серверного збереження та графічного відображення результатів.

Окрему увагу приділено аналізу готових рішень для метеорологічного моніторингу. Встановлено, що комерційні системи часто мають зручний інтерфейс і готову інфраструктуру, однак їх використання пов'язане з певними обмеженнями. До таких обмежень належать залежність від фірмових хмарних сервісів, складність зміни логіки роботи, обмежені можливості інтеграції з власним сервером та вища вартість. Через це для навчально-практичного інженерного рішення доцільним став підхід із використанням відкритої мікроконтролерної платформи, доступних сенсорів і власної серверної частини.

У другому розділі сформовано архітектуру програмно-технічного засобу метеорологічного моніторингу. Систему подано як сукупність взаємопов'язаних рівнів: сенсорного, мікроконтролерного, енергетичного, мережевого, серверного

та візуального. Сенсорний рівень відповідає за вимірювання температури, вологості й атмосферного тиску. Мікроконтролерний рівень забезпечує зчитування та первинну обробку даних. Мережевий рівень організовує передавання інформації на сервер. Серверна частина відповідає за приймання та збереження даних, а панель візуалізації забезпечує їх наочне подання для користувача.

У третьому розділі описано практичне формування вимірювального вузла та налаштування основних функціональних процесів системи. Показано підключення сенсорних модулів до ESP32, організацію живлення, використання спільної лінії GND, підключення DHT22 через цифровий контакт і BMP280 через шину I²C. Також передбачено можливість контролю напруги акумулятора через аналоговий вхід мікроконтролера, що дозволяє додатково оцінювати стан автономного живлення.

Підготовлено серверне середовище для приймання та збереження метеорологічних даних. У структурі серверної частини передбачено приймання повідомлень від ESP32, обробку структурованих пакетів, перевірку даних і запис показників до бази часових рядів. Такий підхід забезпечує накопичення історії вимірювань і створює основу для подальшого аналізу температури, вологості, атмосферного тиску та стану акумулятора.

Створено панель візуалізації метеорологічних показників, у якій відображено поточні значення температури, вологості, атмосферного тиску та напруги акумулятора. Для кожного параметра передбачено графічне відображення зміни в часі, що дозволяє оцінювати не лише останні отримані значення, а й загальну динаміку показників. Панель стала кінцевою ланкою системи, яка перетворює технічні дані з сенсорів на зрозуміле графічне представлення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Banks A., Briggs E., Borgendale K., Gupta R. MQTT Version 5.0. OASIS Standard. 2019. URL: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).
2. Espressif Systems. ESP32-C3 Datasheet. Espressif Systems Documentation. 2021. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf (дата звернення: 25.02.2026).
3. Espressif Systems. Wi-Fi Driver API. ESP-IDF Programming Guide. 2026. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-guides/wifi.html> (дата звернення: 25.02.2026).
4. Espressif Systems. ESP-MQTT. *ESP-IDF Programming Guide*. 2026. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/protocols/mqtt.html> (дата звернення: 25.02.2026).
5. Espressif Systems. ESP HTTP Client. *ESP-IDF Programming Guide*. 2026. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/protocols/esp_http_client.html (дата звернення: 25.02.2026).
6. Espressif Systems. System Time. *ESP-IDF Programming Guide*. 2026. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/system/system_time.html (дата звернення: 25.02.2026).
7. Espressif Systems. SNTP Example. ESP-IDF GitHub Repository. 2026. URL: <https://github.com/espressif/esp-idf/blob/master/examples/protocols/sntp/README.md> (дата звернення: 25.02.2026).
8. Espressif Systems. esp-mqtt. *GitHub*. 2026. URL: <https://github.com/espressif/esp-mqtt> (дата звернення: 25.02.2026).
9. Bosch Sensortec. BMP390 Datasheet. Bosch Sensortec. 2021. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp390-ds002.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

					КвРКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Bosch Sensortec. BMP388 Datasheet. Bosch Sensortec. 2020. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp388-ds001.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

11. Infineon Technologies. DPS310 Datasheet. *Infineon Technologies*. 2019. URL: <https://files.seeedstudio.com/products/101020812/res/DPS310-datasheet.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

12. Bosch Sensortec. BME680 Datasheet. Bosch Sensortec. 2024. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme680-ds001.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

13. Bosch Sensortec. BME688 Datasheet. Bosch Sensortec. 2024. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme688-ds000.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

14. Sensirion AG. Sensirion Datasheet SHT4x. Sensirion. 2023. URL: https://sensirion.com/media/documents/33FD6951/6555C40E/Sensirion_Datasheet_SHT4x.pdf (дата звернення: 25.02.2026).

15. AOSONG. Data Sheet AHT20: Humidity and Temperature Sensor. AOSONG. 2021. URL: <https://www.aosong.com/userfiles/files/media/Data%20Sheet%20AHT20.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

16. Texas Instruments. BQ24074 Standalone 1-Cell 1.5-A Linear Battery Charger with Power Path Management. Texas Instruments. 2026. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24074.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

17. Microchip Technology. MCP73871 Data Sheet. Microchip Technology. 2019. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP73871-Data-Sheet-20002090E.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

18. STMicroelectronics. SPV1040 Datasheet. STMicroelectronics. 2021. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/spv1040.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

19. Semtech. SX1276/77/78/79 Datasheet. *Semtech*. 2020. URL: https://cdn.sparkfun.com/assets/7/7/3/2/2/SX1276_Datasheet.pdf (дата звернення: 25.02.2026).

20. STMicroelectronics. SPV1040: Energy Harvesting Step-Up Converter with Embedded MPPT. *STMicroelectronics*. 2026. URL: <https://www.st.com/en/power-management/spv1040.html> (дата звернення: 25.02.2026).

21. Microchip Technology. MCP73871 Product Page. Microchip Technology. 2026. URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/mcp73871> (дата звернення: 25.02.2026).

22. Semtech. SX1276 Product Page. *Semtech*. 2026. URL: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1276> (дата звернення: 25.02.2026).

23. World Meteorological Organization. Guide to Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8. 2021 ed. *World Meteorological Organization*. 2021. URL: https://amc.namem.gov.mn/wp-content/uploads/WMO/1.%208_IV_2021_en.pdf?t=1638837870 (дата звернення: 25.02.2026).

24. WMO Community. Guide to Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8. *World Meteorological Organization Community Platform*. 2025. URL: <https://community.wmo.int/site/knowledge-hub/programmes-and-initiatives/instruments-and-methods-of-observation-programme-imop/guide-instruments-and-methods-of-observation-wmo-no-8> (дата звернення: 25.02.2026).

25. InfluxData. InfluxDB OSS v2 Documentation. InfluxDB Documentation. 2026. URL: <https://docs.influxdata.com/influxdb/v2/> (дата звернення: 25.02.2026).

26. InfluxData. Write Data to InfluxDB. InfluxDB Documentation. 2026. URL: <https://docs.influxdata.com/influxdb/v2/write-data/> (дата звернення: 25.02.2026).

27. Docker Inc. Docker Documentation: Reference. Docker Docs. 2025. URL: <https://docs.docker.com/reference/> (дата звернення: 25.02.2026).

					КвПКІ 2301110.23.01.42 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Docker Inc. Docker Compose Quickstart. Docker Docs. 2026. URL: <https://docs.docker.com/compose/gettingstarted/> (дата звернення: 25.02.2026).

29. Eclipse Foundation. Eclipse Mosquitto. GitHub. 2026. URL: <https://github.com/eclipse-mosquitto/mosquitto> (дата звернення: 25.02.2026).

30. Eclipse Foundation. Migrating from Mosquitto 1.x to 2.0. Eclipse Mosquitto Documentation. 2020. URL: <https://mosquitto.org/documentation/migrating-to-2-0/> (дата звернення: 25.02.2026).

31. Eclipse Foundation. Version 2.0.20 Released. *Eclipse Mosquitto Blog*. 2024. URL: <https://mosquitto.org/blog/2024/10/version-2-0-20-released/> (дата звернення: 25.02.2026).

32. Grafana Labs. InfluxDB SQL Support. Grafana Labs. 2024. URL: <https://grafana.com/whats-new/2024-01-23-influxdb-sql-support/> (дата звернення: 25.02.2026).

33. Fagan M., Megas K., Scarfone K., Smith M. IoT Device Cybersecurity Capability Core Baseline. *NIST Interagency or Internal Report 8259A*. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2020. DOI: 10.6028/NIST.IR.8259A

34. Malhotra A., Goldberg S. Message Authentication Code for the Network Time Protocol. *RFC 8573*. 2019. DOI: 10.17487/RFC8573

35. NTP.org. NTPv4 Extension Fields. *NTP Documentation*. 2025. URL: <https://www.ntp.org/documentation/ietf/ntp-extension-fields/> (дата звернення: 25.02.2026).

36. Alcalá-Rodríguez U. E., Guerrero-Osuna H. A., García-Vázquez F. та ін. Design and Validation of a Solar-Powered LoRa Weather Station for Environmental Monitoring and Agricultural Decision Support. *Technologies*. 2026. Vol. 14, No. 1. 32. DOI: 10.3390/technologies14010032

37. da Silva T. A., Serrano A. L. M., Figueiredo E. R. C. та ін. New Model for Weather Stations Integrated to Intelligent Meteorological Forecasts in Brasilia. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 11. 3432. DOI: 10.3390/s25113432

38. Kalaany C. M. A., Kimaita H. N., Abdelmoneim A. A., Khadra R., Derardja B., Dragonetti G. The Potential of Low-Cost IoT-Enabled Agrometeorological Stations: A Systematic Review. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 19. 6020. DOI: 10.3390/s25196020

39. Mabrouki J., Azrour M., Dhiba D., Farhaoui Y., El Hajjaji S. IoT-Based Data Logger for Weather Monitoring Using Arduino-Based Wireless Sensor Networks with Remote Graphical Application and Alerts. *Big Data Mining and Analytics*. 2021. Vol. 4, No. 1. P. 25–32. DOI: 10.26599/BDMA.2020.9020018

40. Adeagbo A. A. IOT Based Environment Monitoring System Using ESP32. *arXiv*. 2024. URL: <https://arxiv.org/pdf/2405.14047> (дата звернення: 25.02.2026).

41. Sayor J. J. A.-M., Shishir N. T., Barmon B. B., Ahemed S., Rahman M. M. IoT-Driven Real-Time Weather Measurement and Forecasting Mobile Application with Machine Learning Integration. *Array*. 2025. Vol. 27. 100474. DOI: 10.1016/j.array.2025.100474

42. Сидоренко А. О. IoT-метеостанція на базі ESP32 : кваліфікаційна робота. *Електронний архів КІП ім. Ігоря Сікорського*. Київ, 2025. URL: <https://ela.kpi.ua/items/6ffee7a1-1b56-4a80-b088-d3149f7c17a5> (дата звернення: 25.02.2026).

43. Вітюк Д. В. Програмно-апаратний засіб «Погодна станція на ESP32» : кваліфікаційна робота. *Електронний архів Хмельницького національного університету*. Хмельницький, 2025. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/items/c21d453f-5559-47a3-8e40-1e95b0f8fd7f> (дата звернення: 25.02.2026).

44. Муравець М. П. Комп'ютеризована система моніторингу грозової активності : кваліфікаційна робота. *Репозитарій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*. Тернопіль, 2025. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/49826/1/Maksym_Muravets.pdf (дата звернення: 25.02.2026).

45. Анотація до роботи з описом метеостанції та використанням ВМЕ280/АТmega328. *Репозитарій Вінницького національного технічного університету*. Вінниця, 2025. URL:

<https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/10513.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).

46. Розумна метеостанція на базі ESP32. *Arduino.ua*. 2025. URL: <https://arduino.ua/art260-rozymna-meteostanciya-na-bazi-esp32> (дата звернення: 25.02.2026).

47. STMicroelectronics. SPV1040: Energy Harvesting Step-Up Converter with Embedded MPPT. *STMicroelectronics*. 2026. URL: <https://www.st.com/en/power-management/spv1040.html> (дата звернення: 25.02.2026).

48. Texas Instruments. BQ24074 Product Page. *Texas Instruments*. 2026. URL: <https://www.ti.com/product/BQ24074> (дата звернення: 25.02.2026).

49. Španer M., Truntič M., Hercog D. IoT-Based Off-Grid Solar Power Supply: Design, Implementation, and Case Study of Energy Consumption Control Using Forecasted Solar Irradiation. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, No. 22. 12018. DOI: 10.3390/app152212018

50. LoRa Alliance. LoRaWAN L2 1.0.4 Specification. *LoRa Alliance*. 2020. URL: <https://resources.lora-alliance.org/technical-specifications/lorawan-specification-v1-0-4> (дата звернення: 25.02.2026).

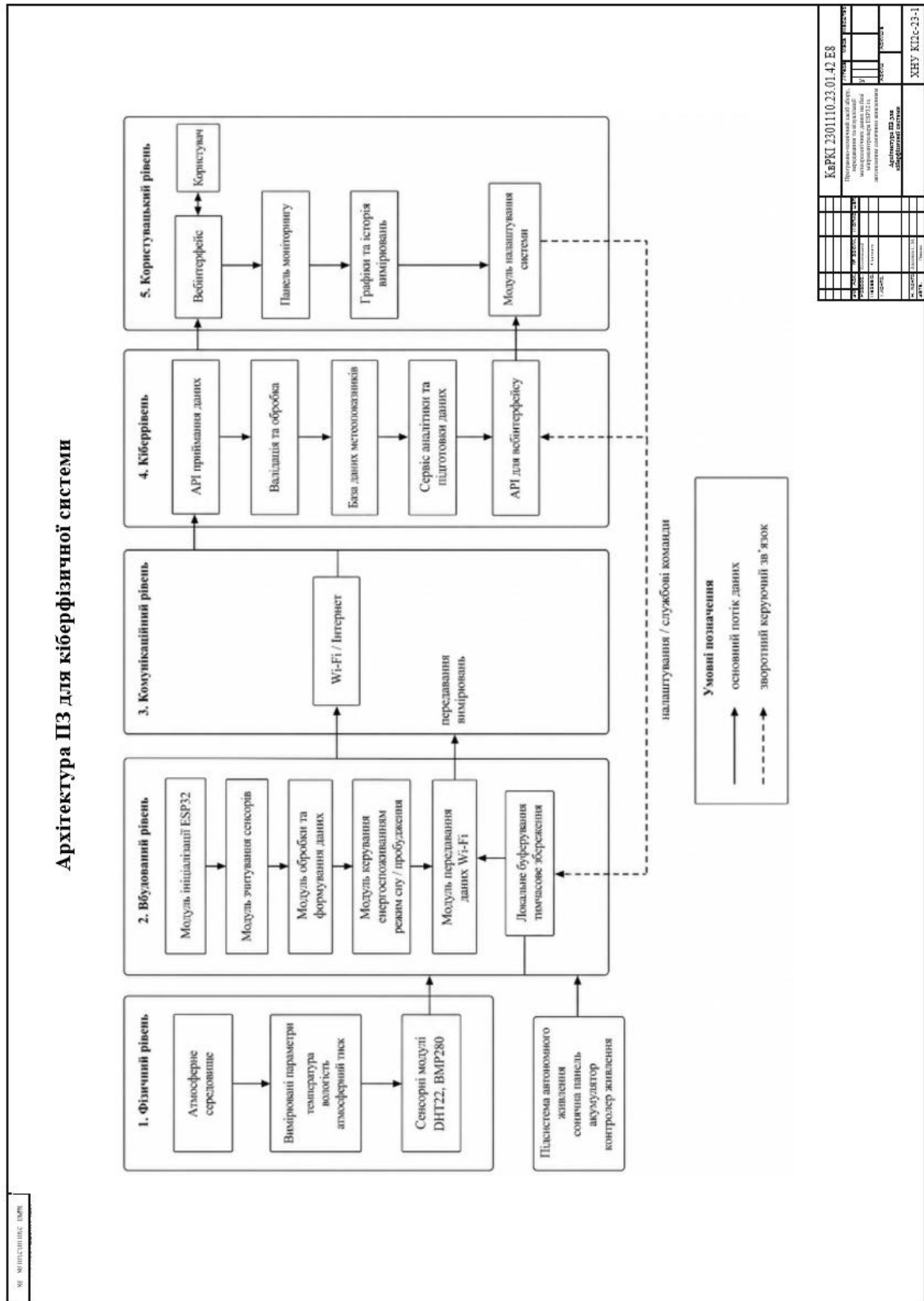
51. Netatmo Smart Home Weather Station. URL: <https://www.legrand.com.au/en/catalog/products/netatmo-smart-weather-station-nws01-p>

52. Ambient Weather WS-2902. URL: <https://www.popsci.com/gear/ambient-home-weather-station-big-spring-sale-amazon-deal/>

53. Vaisala WXT536. URL: <https://www.spectrotechnology.com/product/vaisala-wxt536-weather-sensor/>

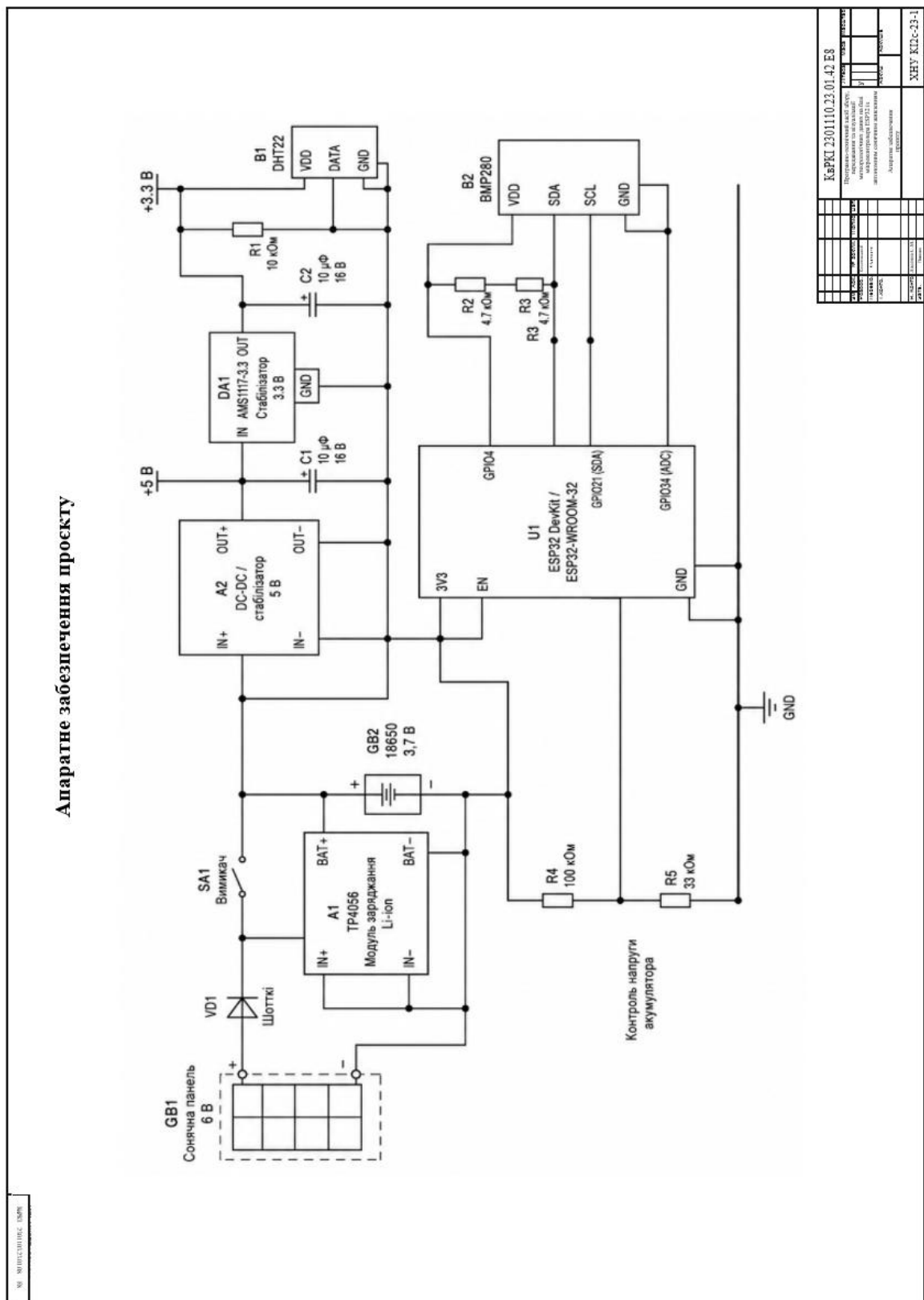
(обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи»



Додаток В (обов'язковий)

Копія креслення «Апаратне забезпечення проєкту»



Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Володимир КОНОПАЦЬКИЙ

Співавтор:

Назва: Програмно-технічний засіб збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням

Експерт: Андрій НІЧЕПОРУК

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 3.9%

Коефіцієнт подібності 2: 1.1%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-11 22:56:59.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☒ Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

☐ Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

☐ Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-12

Дата

Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Thu Jun 11 08:03:41 EEST 2026, Медзятий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701**Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%****Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 9%**

ID: 274662 Назва: БКР Програмно-технічний засіб збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням Додано в БД: 2026-06-11 Автора: Володимир КОНОПАЦЬКИЙ Керівники: Андрій НІЧЕПОРУК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	108402	727	2436 (2%)	28 (4%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Конопацький Володимир Андрійович

Тема: Комп'ютерна система кодування в комп'ютерних мережах

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 58

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є проєктування, реалізація та перевірка працездатності програмно-технічного засобу для збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням. Розроблена система забезпечує вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску, підтримку роботи від сонячної панелі з акумуляторним накопичувачем, бездротове передавання даних на сервер та їх відображення у розробленому вебінтерфейсі.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено ґрунтовний аналіз предметної області та обґрунтовано актуальність розробки компактних автономних систем метеомоніторингу. Здійснено аналіз апаратних платформ та принципів автономного енергоживлення. У другому розділі викладено процес проєктування системи. Розроблено архітектуру та доцільно підібрано апаратну базу: мікроконтролер ESP32, датчик DHT22, BMP280, літій-іонний акумулятор 18650, сонячну панель на 6 В та контролер заряду BQ24074. У третьому розділі виконано практичну реалізацію. Налаштовано цикл роботи мікроконтролера з оптимізацією енергоспоживання через режим сну (Deep Sleep). Для серверної частини використано сучасний стек: MQTT-брокер Mosquitto, базу даних часових рядів InfluxDB та панель візуалізації Grafana, що цілком відповідає сучасним тенденціям побудови IoT-систем.

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Володимир КОНОПАЦЬКИЙ

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 травня 2026 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Програмно-технічний засіб збору, передавання та візуалізації метеорологічних даних на базі мікроконтролера ESP32 із автономним сонячним живленням

Автор Володимир КОНОПАЦЬКИЙ

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: к.т.н. доцент, Андрій НІЧЕПОРУК

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3,9% і адресується до 24 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

11.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Підпис

Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ